

Calibrazione ATLAS e CMS

(quanto possono influire sui primi risultati di fisica)



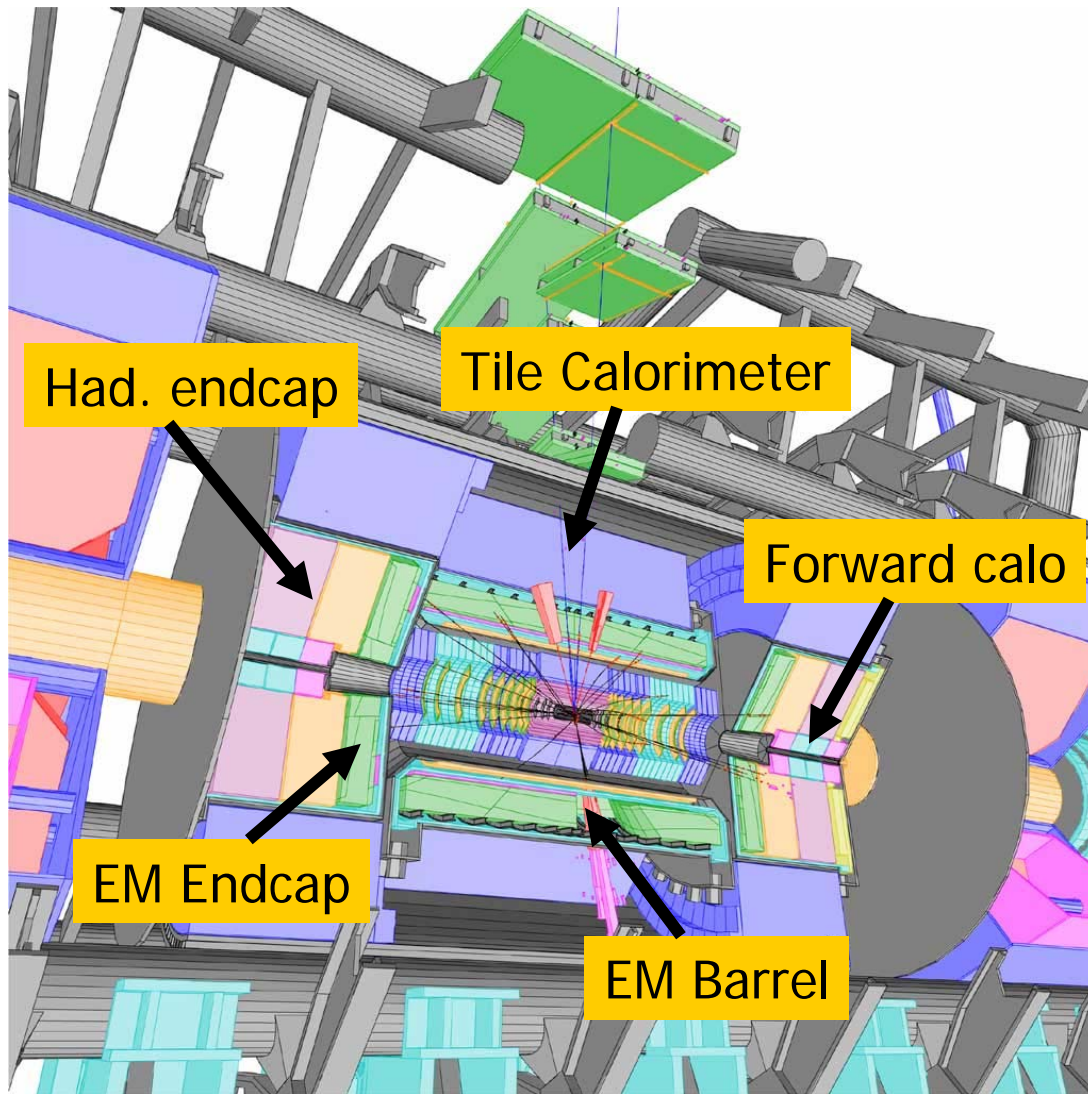
Carminati Leonardo – Govoni Pietro
(INFN e Università' di Milano – Milano Bicocca)



- Introduzione: la fisica ad LHC e i calorimetri di ATLAS e CMS
- Parte I : ricostruzione dei segnali nei calorimetri
- Parte II : ricostruzione degli oggetti fisici
 - Ricostruzione e calibrazione di elettroni e fotoni
 - Ricostruzione e calibrazione di pioni e jets:
 - Ricostruzione e calibrazione del momento mancante
- Parte III (*Discussione*) : performance al D-Day, primi dati

- Calorimetri elettromagnetici:
 - Benchmarks: $H \rightarrow \gamma\gamma$, $H \rightarrow eeee$, massa del W richiedono eccellente risoluzione e linearita' nel range $O(100 \text{ GeV})$ fino a basse E_T
 - $Z' \rightarrow ee$ to few TeV range
 - b-physics: e down to GeV range
 - Calo TDR goals for $|\eta| < 2.5$:
 - Constant term $< 0.7\%$ (ATLAS) $< 0.5\%$ (CMS)
 - Energy scale $\sim 0.1\%$
 - Linearity better than 0.5% (0.02% per massa W)
- Calorimetri adronici e forward:
 - Benchmark channels: $W \rightarrow JJ$ nei decadimenti del top, $H \rightarrow b \bar{b}$ e linearita' per modelli di quark compositness
 - Higgs fusion, forward physics: importante forward jet tagging
 - $E_{T\text{MISS}}$: jet resolution, linearity
 - Calo TDR goals:
 - $\Delta E/E$: constant term $< 3\%$ for $|\eta| < 3$
 - $\Delta E_T/E_T$: constant term $< 10\%$ for $3 < |\eta| < 5$ (few % in FCAL)
 - linearita' $\sim 2\%$ fino a 4 TeV , energy scale $\sim 1\%$

I calorimetri di ATLAS



- **EM LAr** $|\eta| < 3$:

Pb/LAr 24-26 X_0

3 sezioni longitudinali 1.2 λ

$\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.025 \times 0.025$ (middle) ;
 $\sim 0.003 \times 0.024$ (strips)

- **Central Hadronic** $|\eta| < 1.7$:

Fe(82%)/scintillatore(18%)

3 sezioni longitudinali 7.2 λ

$\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.1 \times 0.1$

- **End Cap Hadronic** $1.7 < \eta < 3.2$:

Cu/LAr – **4 sezioni longitudinali**

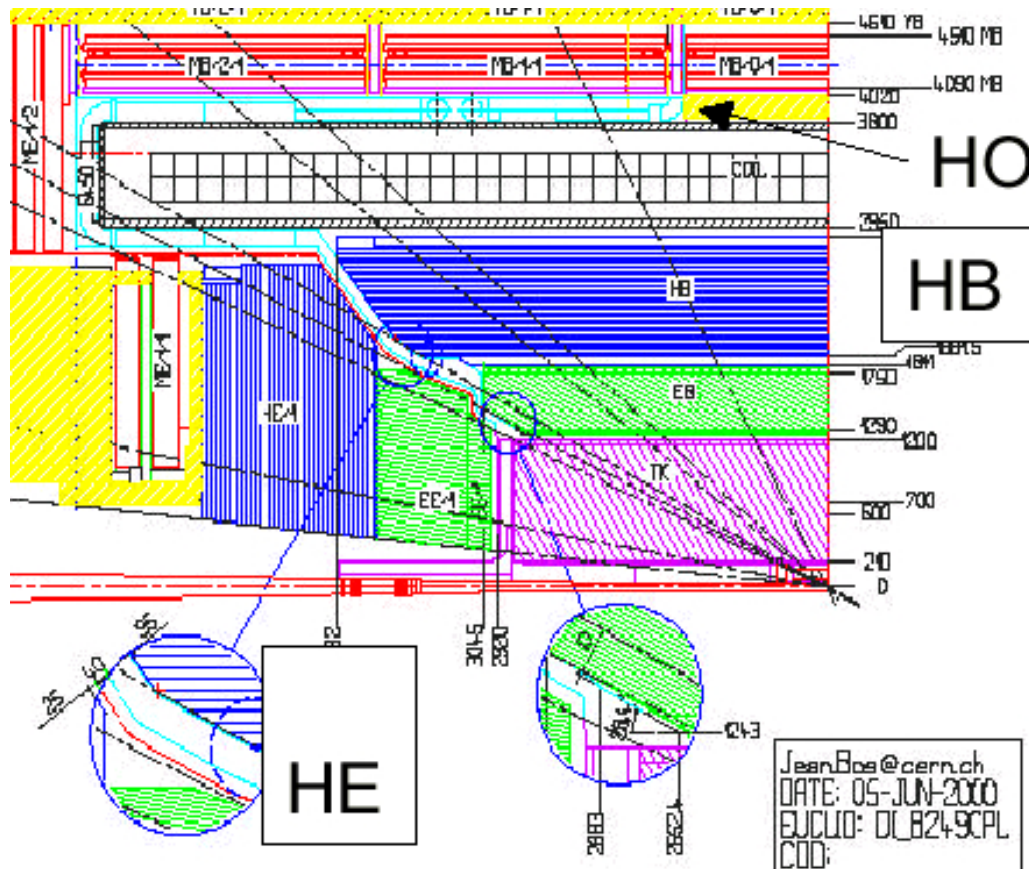
$\Delta\eta \times \Delta\phi < 0.2 \times 0.2$

- **Forward calorimeter** $3 < \eta < 4.9$:

EM Cu/LAr – HAD W/LAr

3 sezioni longitudinali

I calorimetri di CMS



- **EM calorimeter** $|\eta| < 3$:

PbWO₄ crystals

1 sezione longitudinale 1.1λ ,

$$\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.0174 \times 0.0174$$

- **Central Hadronic** $|\eta| < 1.7$:

Cu(70%)+Zn(30%)/scintillatore+WLS

2 + 1 (HO) sezioni longitudinali

$5.9 + 3.9 \lambda$ ($|\eta| = 0$)

$$\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.087 \times 0.087$$

- **Endcap Hadronic** $1.3 < |\eta| < 3$:

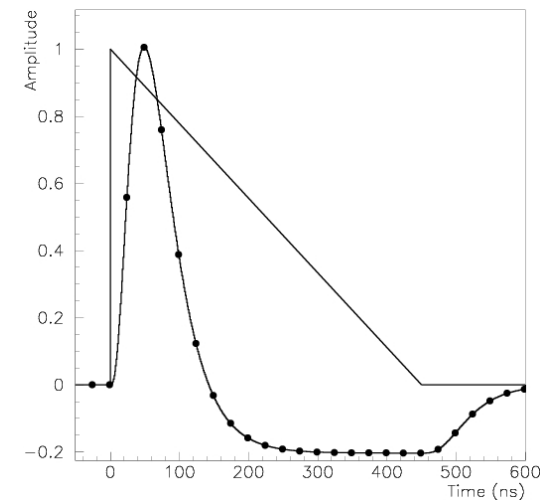
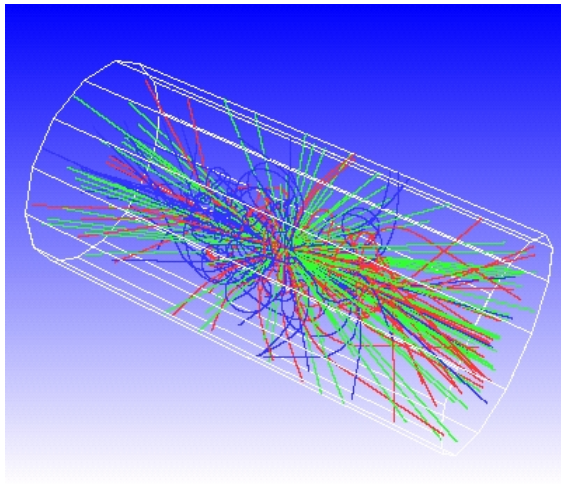
Cu(70%)+Zn(30%)/scintillatore+WLS

2/3 sezioni longitudinali 10λ

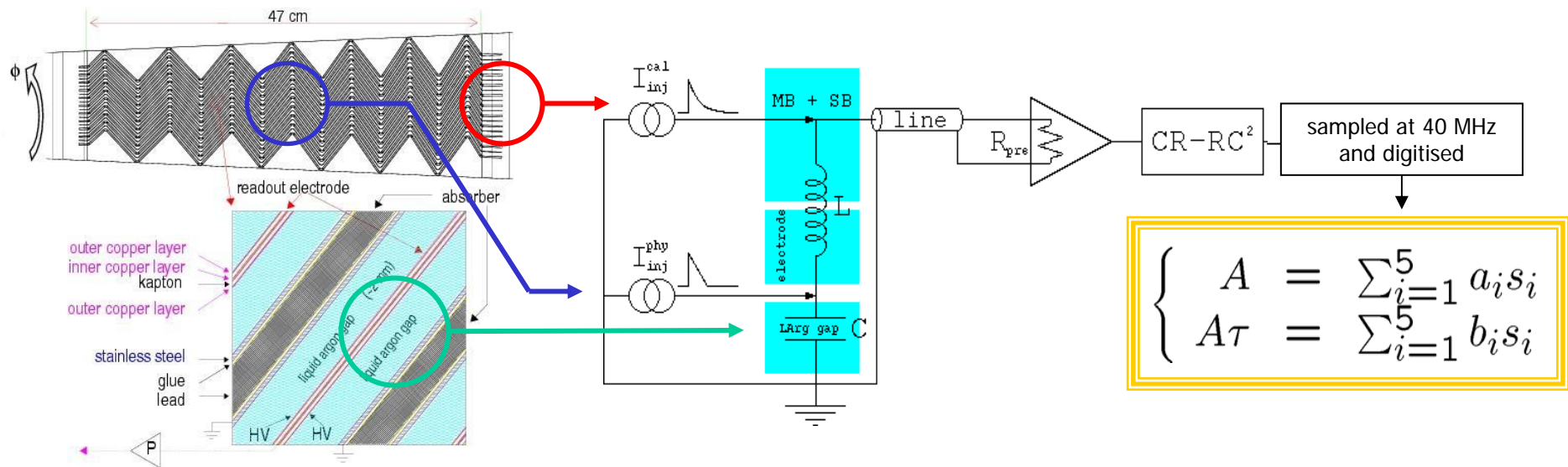
$$\Delta\eta \times \Delta\phi = \sim 0.15 \times 0.17$$

- **Forward calorimeter** $2.85 < \eta < 5.19$:
Ferro/fibre di quarzo $\Delta\eta \times \Delta\phi = \sim 0.175 \times 0.17$

Parte I : Dagli eventi ai segnali nei calorimetri



Il calorimetro em di ATLAS: generazione del segnale e calibrazione elettronica



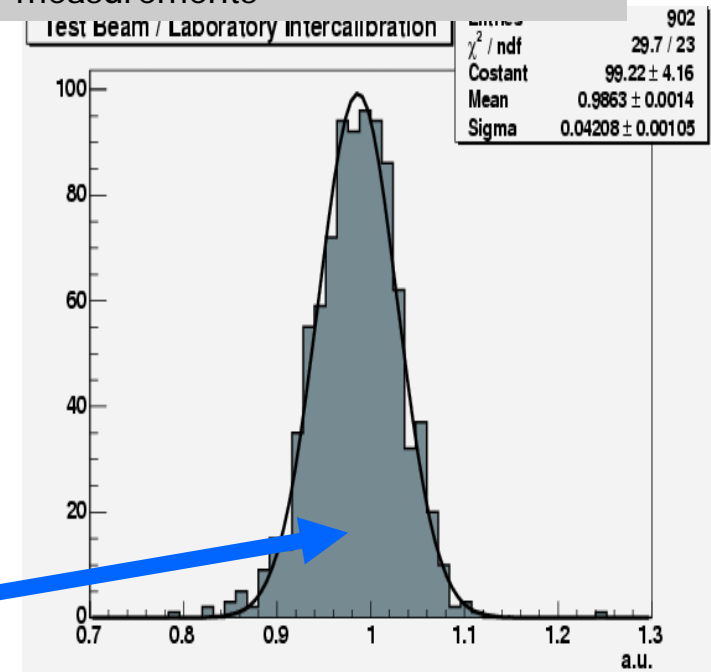
$$\begin{cases} A = \sum_{i=1}^5 a_i s_i \\ A\tau = \sum_{i=1}^5 b_i s_i \end{cases}$$

- ❑ Il **segnale di fisica** : triangolare lunghezza ~ 400 ns. Il segnale dopo la formatura ha un tempo di picco ~50 ns. Il valore del picco e' ricostruito usando 5 campioni del segnale ($\Delta t = 25$ ns) mediante una tecnica di *Optimal filtering* che minimizza l'effetto del noise elettronico + pileup. Il segnale di fisica e' sensibile principalmente a:
 - ❑ Spessore di assorbitori e gap di LAr , Alta tensione, Temperatura (-2% / °K), LAr purity
- ❑ Un **segnale di calibrazione** viene usato per calibrare il guadagno del sistema di read-out (~0.2% accuracy) : **segnale di fisica e calibrazione** differiscono in forma e ampiezza: la forma di fisica puo' essere predetta dalla calibrazione e usata per calcolare i coefficienti di OF
- ❑ Grosso lavoro a **CTB 2004** per rendere il software pronto per ATLAS (nel framework Athena)

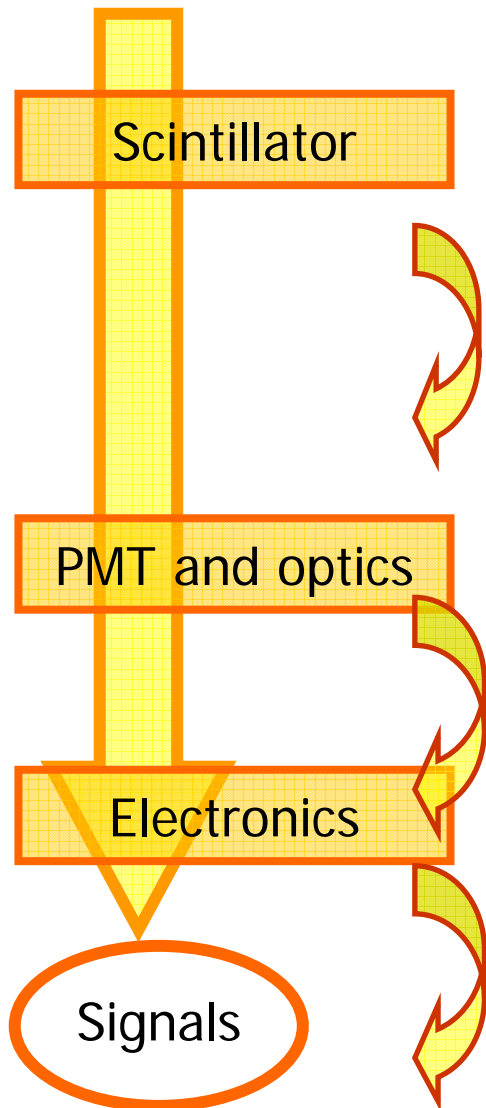
Precalibrazione di CMS ECAL : misure in laboratorio

- Il **light yield (LY)** e la **longitudinal transmission (LT)** sono misurati nei centri regionali a Roma e al CERN
- Il guadagno reale degli APD (rispetto al valore nominale di 50) e' noto per ogni singolo APD
- La **risposta elettronica** e' misurata per ogni singolo canale (Lyon, Torino, ETH)
- Una prima stima dei coefficienti di calibrazione puo' essere effettuata da una combinazione di questi contributi alla risposta del rivelatore con una precisione di circa il 4% (da un iniziale spread $\sim 8\%$ dovuto alle variazioni del LY dei cristalli, vedi nel seguito)

Ratio between the testbeam intercalibration coefficients and the ones obtained from laboratory measurements



Calorimetri adronici: generazione del segnale e calibrazione



Sorgente radioattiva:

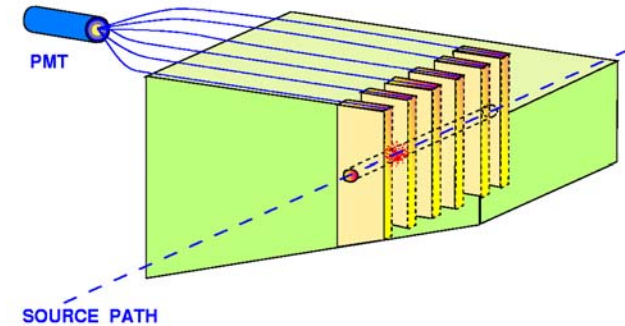
trasportata idraulicamente attraverso ogni scintillatore permette di controllare la risposta ottica dello scintillatore ed equalizzare la risposta di tutte le celle di readout

- ATLAS : $\sim 2 \text{ ‰}$ ATLAS di uniformita' tra le tiles e su dati testbeam e' stato estratto il fattore di calibrazione di calibrazione pC/GeV (3%)

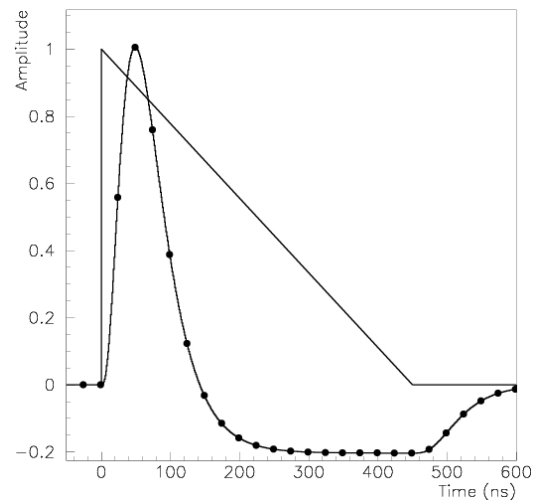
- CMS : uniformita' $< 2\%$. In alcuni tubi la sorgente viene fatta scorrere anche **durante la presa dati**

Laser : monitor di risposta dei fotomoltiplicatori tra due run di calibrazione al cesio. CMS ha anche un sistema di LED (ridondanza)

Charge Injection (CIS): (solo ATLAS) calibrare e monitorare la risposta dell'elettronica di read out al livello dell' 1%: run periodici di calibrazione sono previsti in assenza di fascio (frequenza da determinare con l'esperienza) o tra due bunch (ampiezza fissa soltanto)



Parte II : dal segnale agli oggetti fisici



Elettroni e fotoni

Ottimizzare la risoluzione preservando la linearita'

- Correggere effetto per effetto estraendo i parametri dalla simulazione
- Cluster di dimensioni fissate: uso di clusters topologici non testato

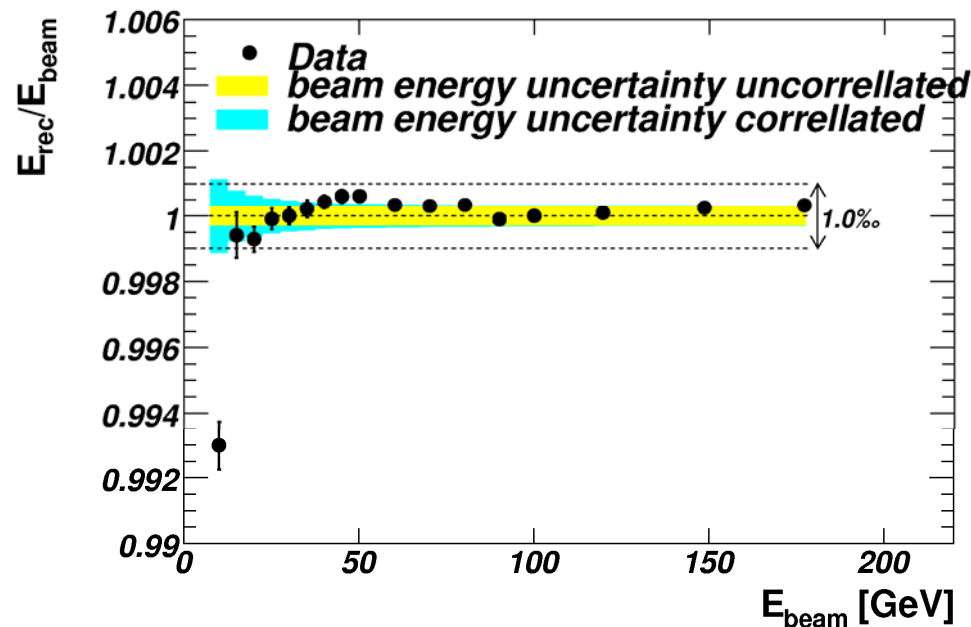
$$E^{rec} = \left(a(E) + b(E) \cdot E_{PS}^{Vis} \right) + c(E) \left(E_{PS}^{Vis} \cdot E_1^{vis} \right)^{\alpha(\sim 0.5)} + d(E) \cdot \sum_{i=1,3} E_i^{calo} \cdot (1 + f_{leak}(depth))$$

- E' fondamentale una eccellente descrizione MC del rivelatore
- Parametrizzazione in funzione di eta?
- Esportabilita' ad ATLAS?

- Correzioni per bremsstrahlung in far material (solo per testbeam)
- Modulazioni della risposta dipendenti dal punto di impatto nella cella

Performance del calorimetro em di ATLAS: linearita' e risoluzione

Dati di testbeam 2002 a $\eta = 0.7 \Rightarrow \sim 2$ anni di lavoro!!!

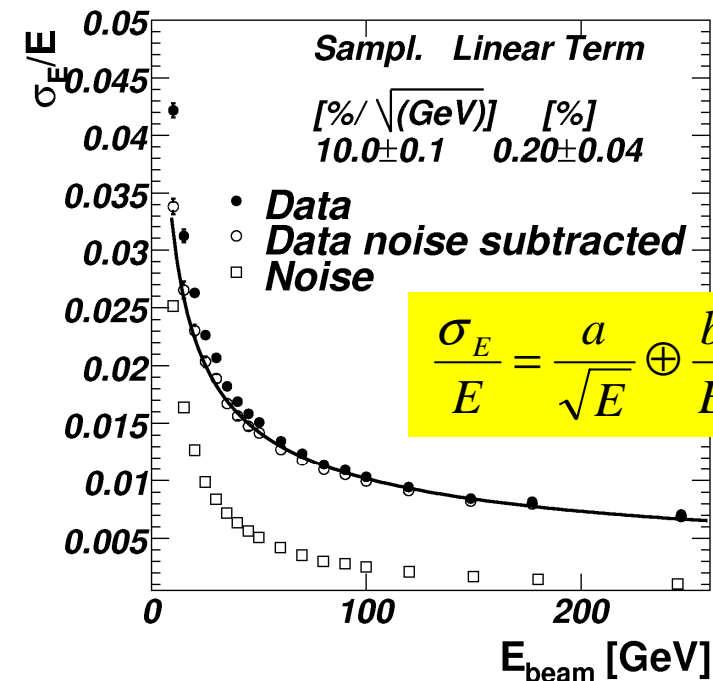


Risoluzione del calorimetro:

- Sampling term(a): Barrel $\sim 10\%$ Endcap $< 12.5\%$
- Noise elettronico(b): ~ 250 MeV (cluster 3x3)
- Local constata term(c): $\sim 0.2\%$
- Entro le specifiche richieste dalla fisica

Linearita' del calorimetro (barrel):

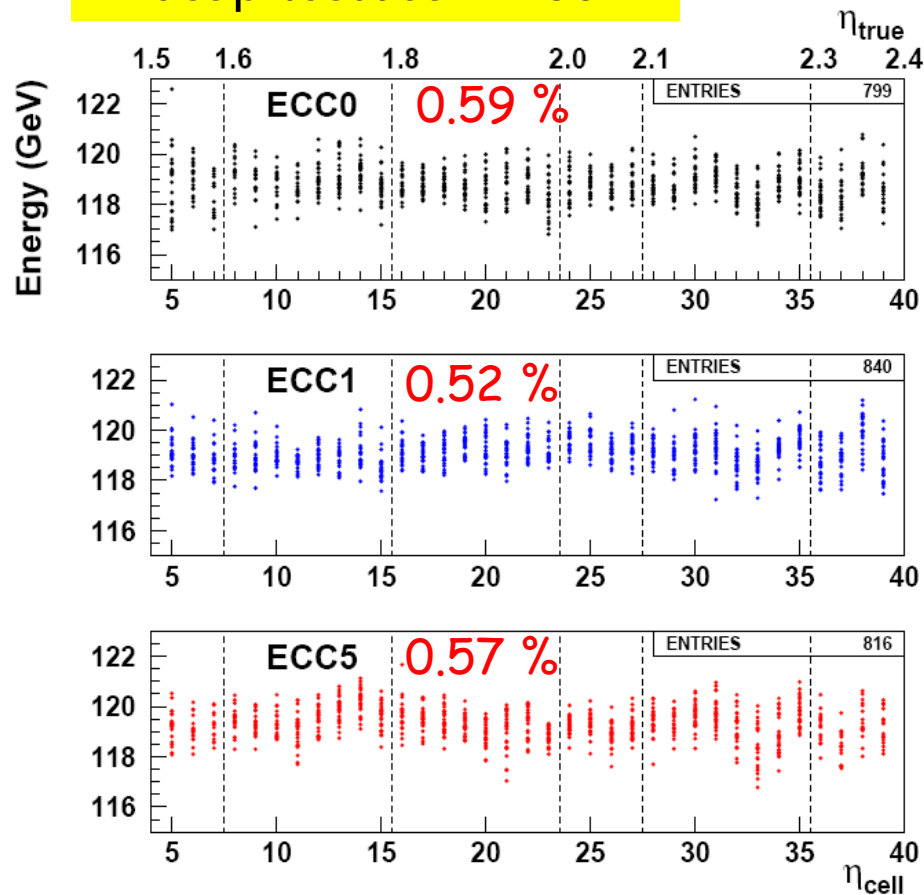
- $\pm 0.1\%$ (escluso il punto a 10 GeV)
- Meglio dello $\pm 0.1\%$ tra 20 – 180 GeV
- Entro le specifiche richieste dalla fisica



Questo schema di calibrazione ottimizza la risoluzione preservando la linearita':

Performance del calorimetro em di ATLAS: uniformita'

Endcap testbeam 2002



	Barrel P13	Barrel P15
RMS	0.57%	0.64%

Strategia:

- Ottenere una uniformita' locale (in un settore $\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.2 \times 0.4$) $\sim 0.5\%$
- Intercalibrare diverse regioni con eventi di fisica ($Z \rightarrow e^+e^-$) per ottenere un termine costante globale (c) $\sim 0.7\%$

Risultati:

- Non e' difficile ottenere 1% quasi on line
- Molto lavoro necessario per scendere allo 0.5% richiesto
- Risultati positivi: termine costante $< 0.6\%$ in un intero modulo (~ 7 settori)

Prospettive:

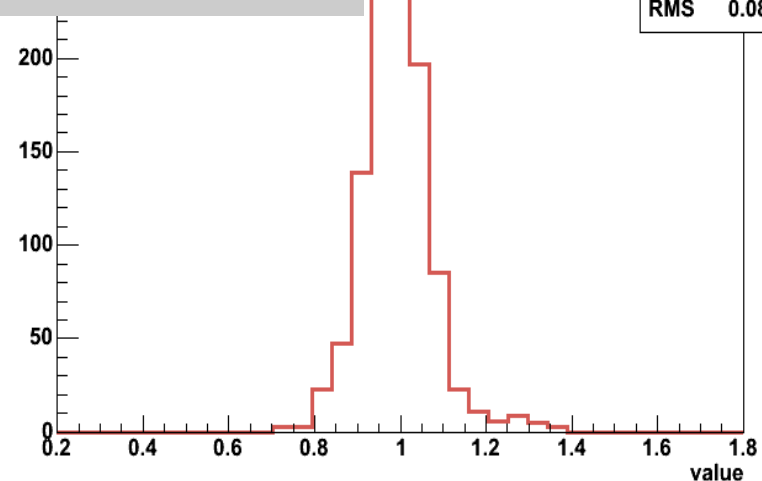
- Il goal di un termine costante globale allo 0.7% raggiungibile intercalibrando con Z

Il calorimetro em di CMS: la calibrazione

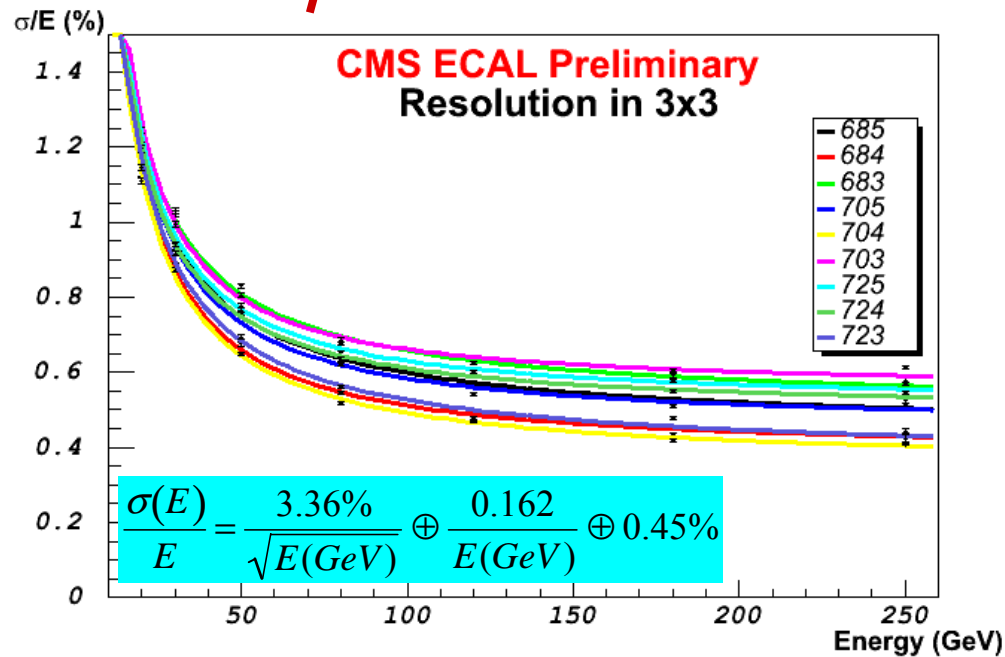
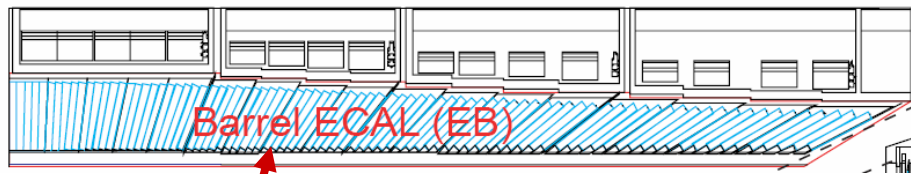
$$E_j^{calib} = E_j^{raw} c_j$$

- I coefficienti di calibrazione c_j vengono calcolati per **equalizzare la risposta dei cristalli** ad una scala di energia assoluta
- L'item piu' critico e' **inter-calibrazione** sia spaziale sia temporale: la calibrazione dei cristalli non deve cambiare in diversi settori del detector e non deve dipendere dal tempo
- Algoritmi di ricostruzione diversi (super-clustering, fixed window) richiedono diversi schemi di calibrazione
- La principale fonte di disuniformita' della risposta e' la variazione del **light yield** tra cristallo e cristallo la cui RMS ~8% (senza calibrazione).
- **Calibrazione al Testbeam**: un fascio di elettroni di energia nota incide con geometria CMS – like sui cristalli di un supermodulo
- E' stata ottenuta **una precisione al livello dello 0.5%** sui coefficienti di intercalibrazione
- Solo alcuni super-moduli sono stati testati su fascio a causa dello stretta schedule di CMS

Calibration coefficients distribution as measured during the 2004 testbeam by means of 120 GeV electrons

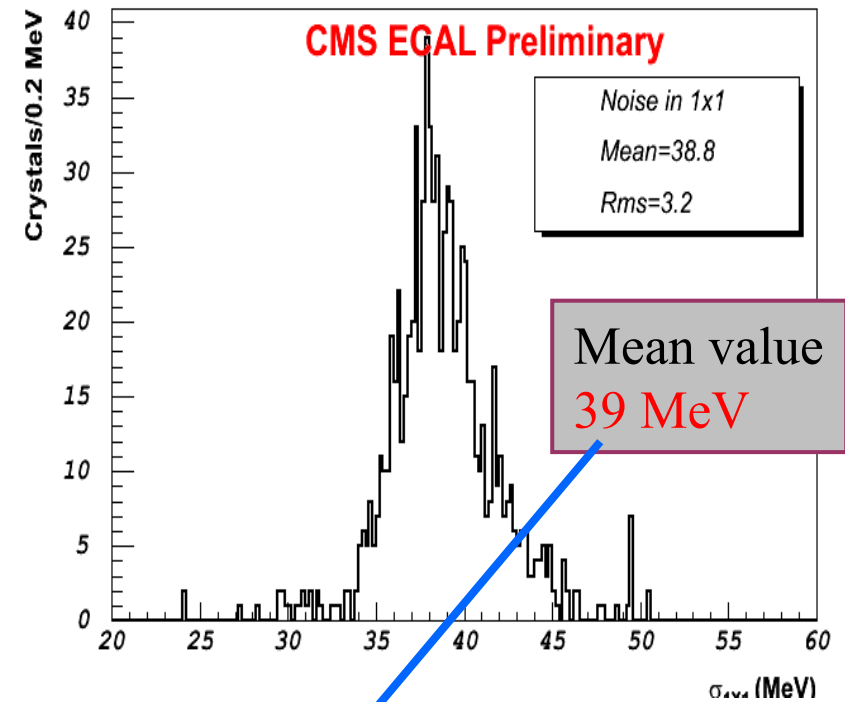


CMS ECAL testbeam: la risoluzione energetica



$\sigma(E)/E$ versus E ricostruendo l'energia in una matrice di 3x3 cristalli, per 9 diversi cristalli centrali

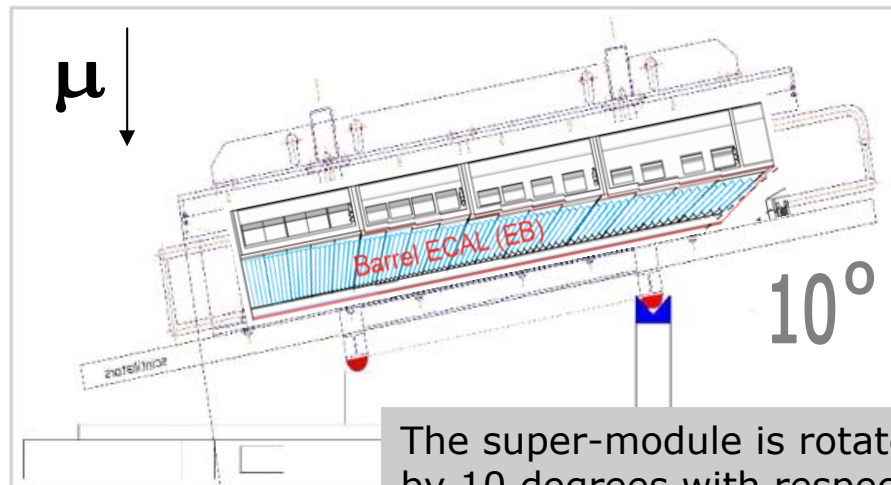
noise per singolo canale,
noise correlato trascurabile



cfr: il segnale di una mip e' circa 230 MeV

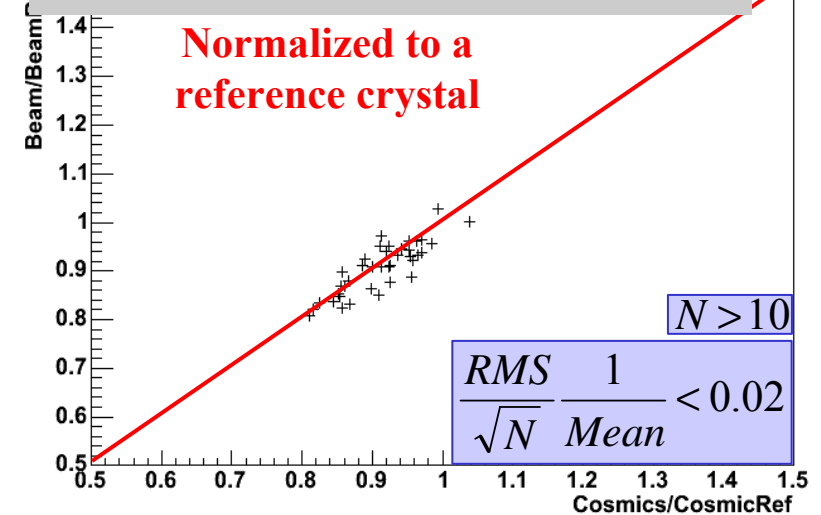
CMS ECAL precalibration: cosmics

- **M.I.P. cosmic muons** usati per intercalibrare cristalli in ogni singolo supermodulo
- Dopo una settimana di data taking si raggiungera' **una precisione migliore del 3% nei coefficienti di intercalibrazione**
- Un veto sulle energie depositate nei cristalli vicini viene usato per selezionare muoni **paralleli all'asse del cristallo**
- Questa misura sara' effettuata su **tutti i super- moduli**.
- La prima campagna di misure e' cominciata nel luglio 2005 e i primi risultati saranno presto disponibili.

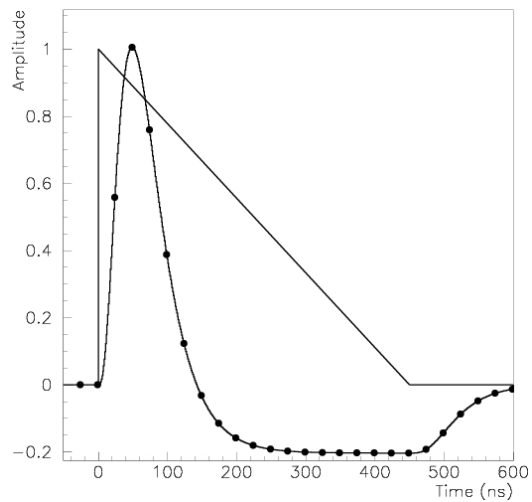


The super-module is rotated by 10 degrees with respect to the horizontal plane

Comparison of testbeam calibration coefficients with preliminary cosmic calibration coefficients



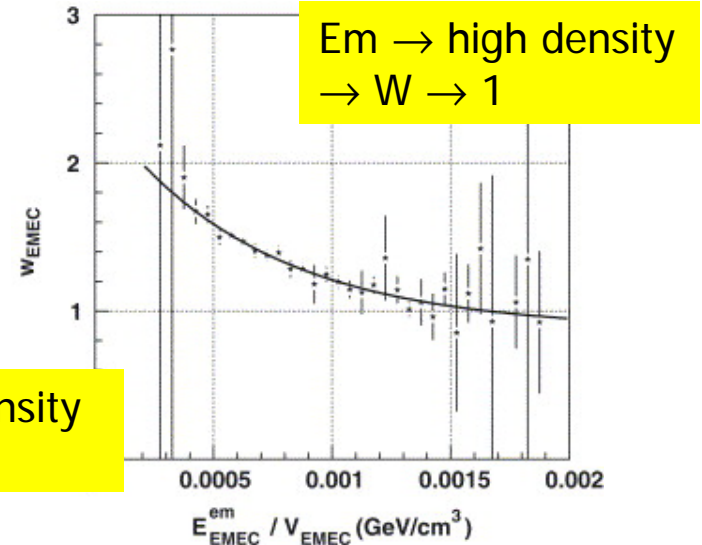
Parte II : dal segnale agli oggetti fisici



Pioni singoli

Calibrazione di pioni singoli al testbeam ATLAS

- Approccio semplice al problema della compensazione: **densita' di energia** (H1 approach)
 - Densita' di energia elevata → principalmente EM
 - Densita' di energia bassa → principalmente had
- Indipendente dal processo fisico
- Pesi per la compensazione dalla richiesta di minimizzare la risoluzione



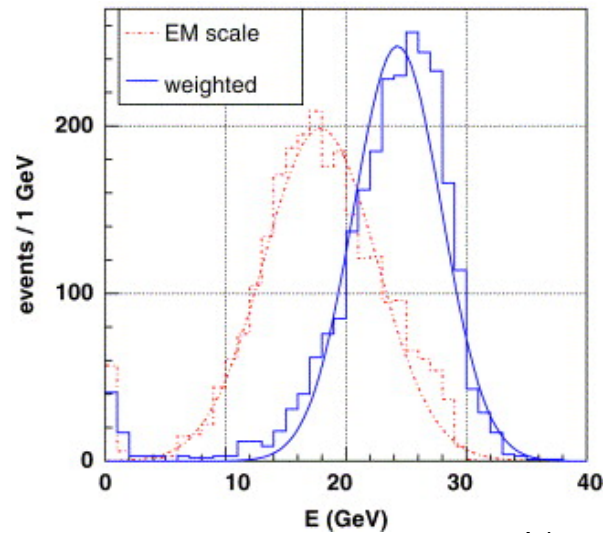
Hadr → low density
→ W > 1

$$E_{\text{corr}}(\text{cell}) = W(E, \dots) E_{\text{reco}}(\text{cell})$$

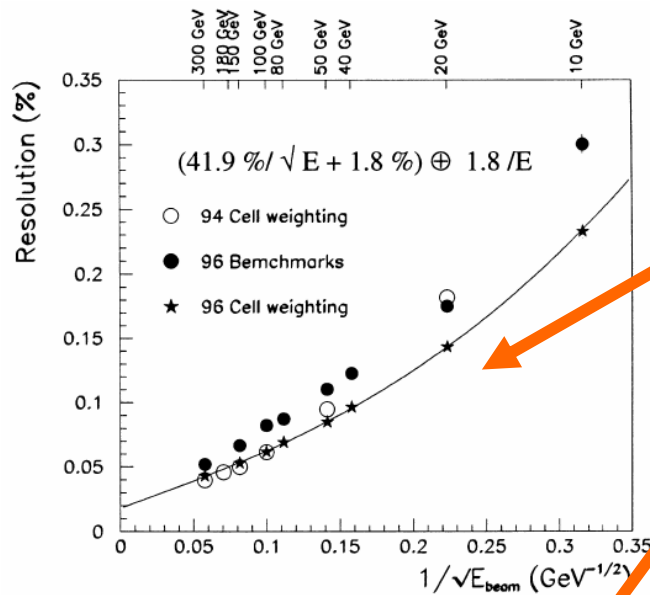
$$W = c_1 \exp(-c_2 E_{\text{rec}}/V) + c_3$$

- Esempio : pioni da 30 GeV nell'EMEC al combined HEC-EMEC testbeam tutti contenuti nell'EMEC.

$$\sigma/E = 26.2 \% \rightarrow 15.1\%$$



Calibrazione di pioni singoli al testbeam Tile + LArg di ATLAS



Al combined testbeam 1996 e' stato utilizzato un metodo di cell weighting alla H1 + constraint sull'energia del beam

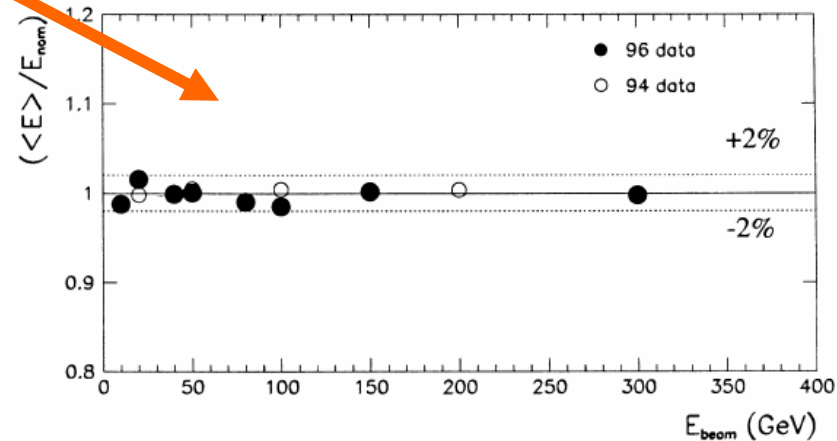
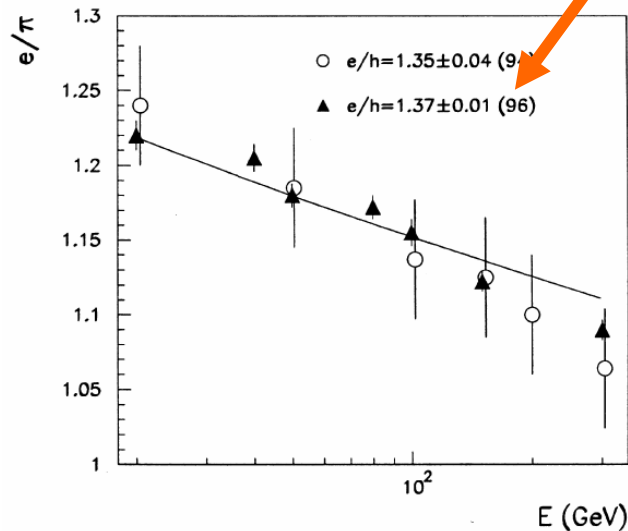
● Risoluzione (pioni singoli) :

$$\frac{\sigma_E}{E} = \left(\frac{(41.9 \pm 1.6)\%}{\sqrt{E}} + (1.8 \pm 0.1)\% \right) \oplus \frac{(1.8 \pm 0.1)}{E}$$

● e/h ~ 1.37

● Linearita' entro il 2% dopo la calibrazione

● Work in progress su dati di Combined TB 2004

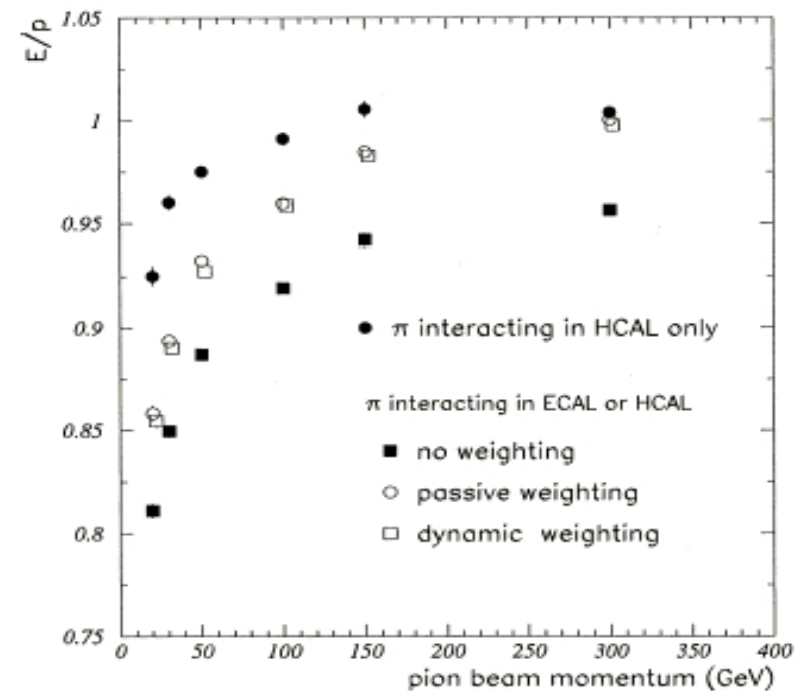
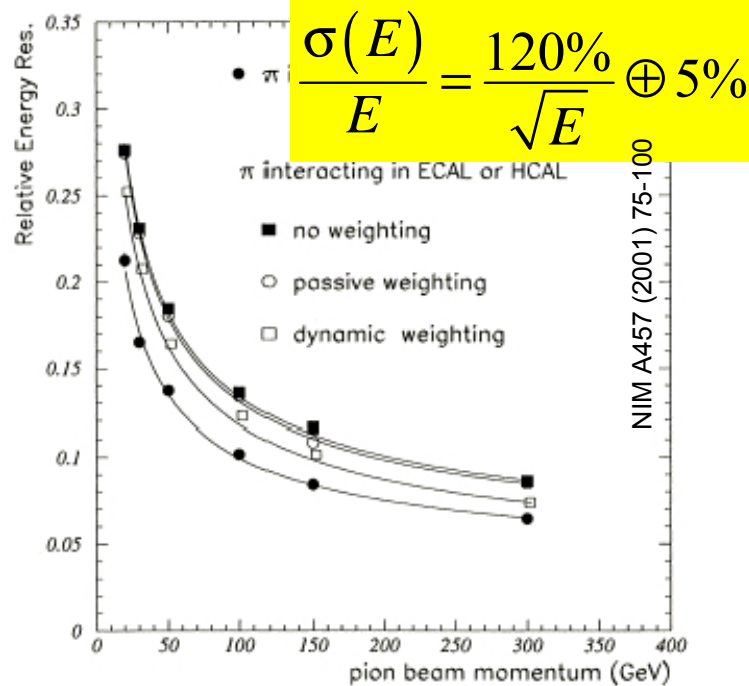


CMS HCAL: testbeam

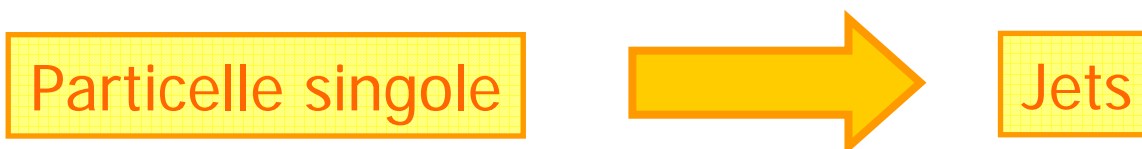
- Ogni cristallo calibrato alla scala elettromagnetica
 $E_j^{\text{Calib}} = E_j^{\text{Raw}} c_j (E_j^{\text{Raw}}, \eta)$ (sorgenti)
- misura dei **coefficienti di calibrazione assoluta** con eventi fisici
- studio della funzionalita' degli **altri metodi di calibrazione**
- studio della **uniformita'** del detector: effetto 1-2% per elettroni, trascurabile per pioni

$$E_{\text{rec}} = E_{\text{EM}} + (\alpha \times H1 + H2 + H3)$$

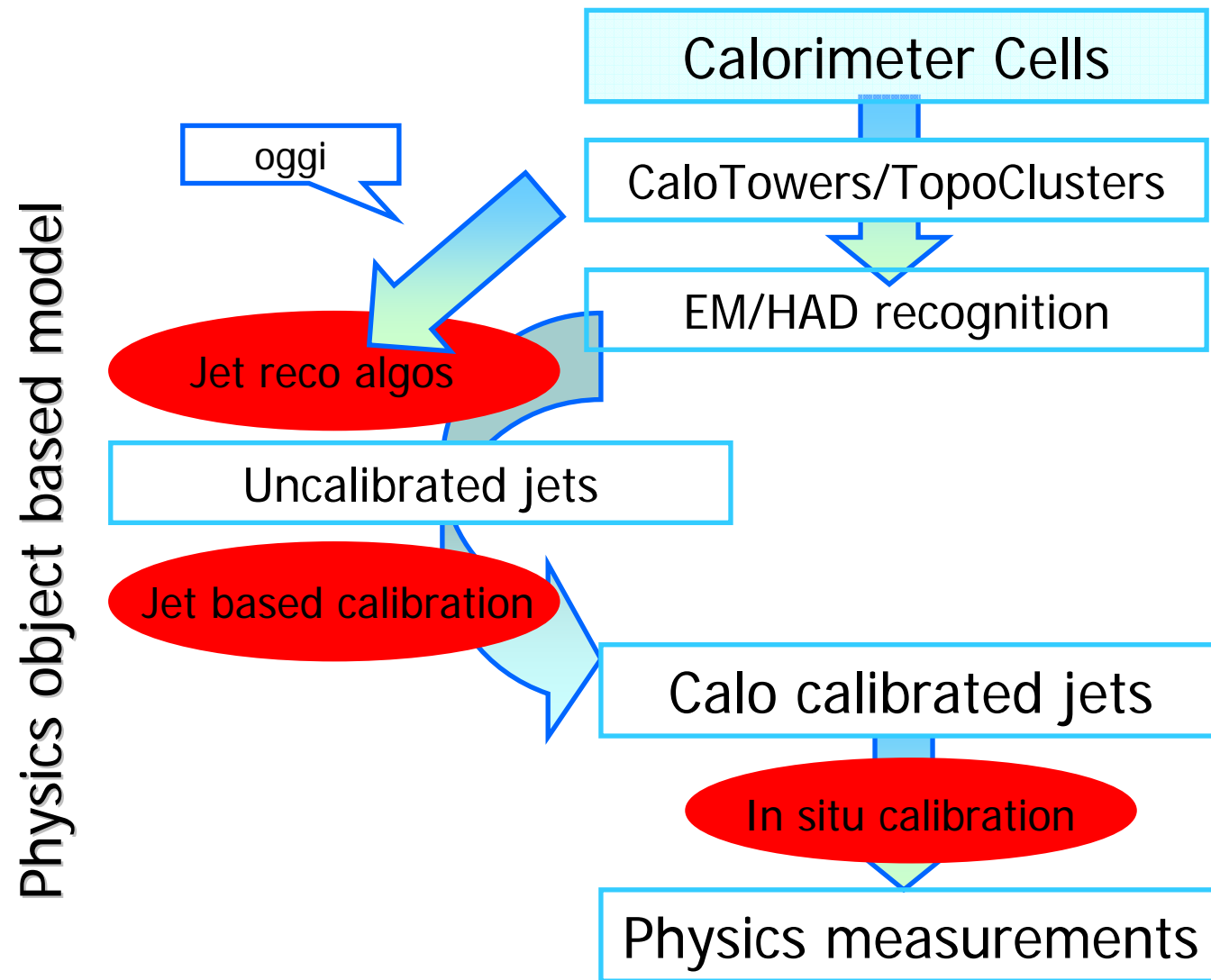
un alto segnale in H1 indica presenza di un adrone e quindi il segnale in EM e' sottostimato $\alpha > 1$ corregge per $e/h < 1$. Il coefficiente α **utilizzato e' costante**.



Parte II : dal segnale agli oggetti fisici



Ricostruzione di adroni e jets



Ricostruzione dei jets

algoritmo a cono \rightarrow vicinanza in angolo

Selezionate le torri calorimetriche con $E_T > E_{T,seed}$ (tipicamente 2 GeV)

Vengono associate le torri entro un raggio ΔR (0.7 o 0.4) attorno al seed e viene calcolato il baricentro del jet.

$$\Delta R = \sqrt{\Delta \eta^2 + \Delta \phi^2}$$

Iterazione fino al raggiungimento di un cono stabile.

Unire due jets se l'overlapping energy > 50 %

Note:

- Jet ha forma e dimensioni definite
- Semplice, veloce
- Teoricamente non corretto

algoritmo $K_T \rightarrow$ vicinanza in P_T e angolo

Per ogni precluster i e per ogni coppia di precluster i, j si definiscono ($D=1$):

$$d_{ij} = k_{T,i}^2$$

$$d_{ij} = \min(k_{T,i}^2, k_{T,j}^2) \frac{\Delta R_{ij}^2}{D^2}$$

si cerca il d minimo:

- se ($d_{\min} = d_{ij}$) \Rightarrow jet trovato!
- se ($d_{\min} = d_{ij}$) \Rightarrow uniscono i e j (4-vector sum) in un nuovo d_{ij}

Note:

- Il jet non ha piu' forma definita a priori
- No sovrapposizioni
- Piu' complesso da calibrare

- Definizione del segnale: cut a $E_{cell} > n\sigma_{noise}$
- L'energia del jet viene definita:

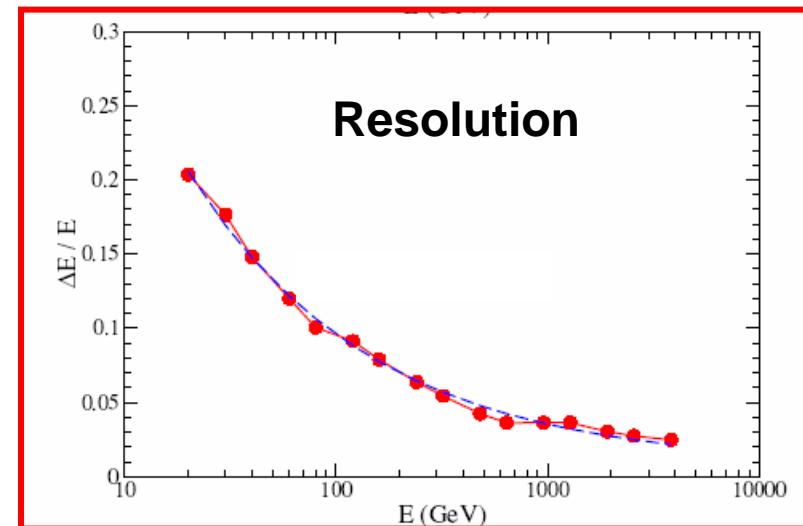
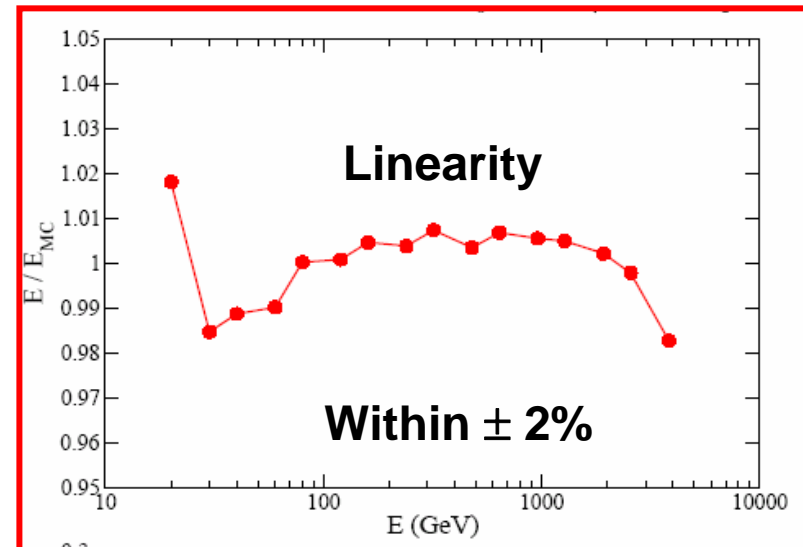
$$E_{Rec} = \sum_{cell} w_{cell} (E_{cell} / V_{cell}) E_{cell}$$

- w_s sono ottenuti su eventi QCD a due jets in vari modi: ad esempio minimizzando

$$\chi^2 = \frac{\sum_{events} (E_{rec} - E_{truth})^2}{E_{truth}^2}$$

- La linearita' e risoluzione per un samples di eventi a due jets con noise in full detector simulation ($20 < E < 4000$ GeV) :

$$|\eta| < 0.7 \quad \frac{\sigma(E)}{E} = \frac{64\%}{\sqrt{E(GeV)}} + 3\% + \frac{4.4}{E(GeV)}$$

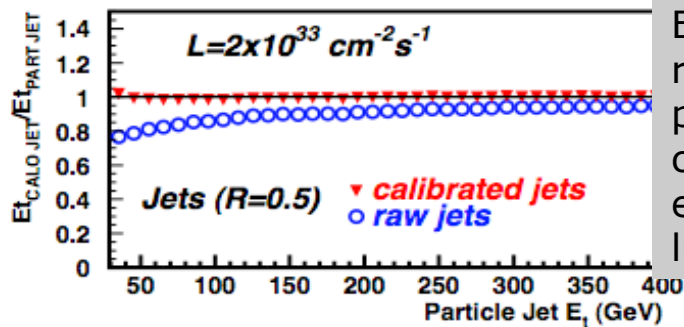


CMS HCAL: correzioni di scala per i jet

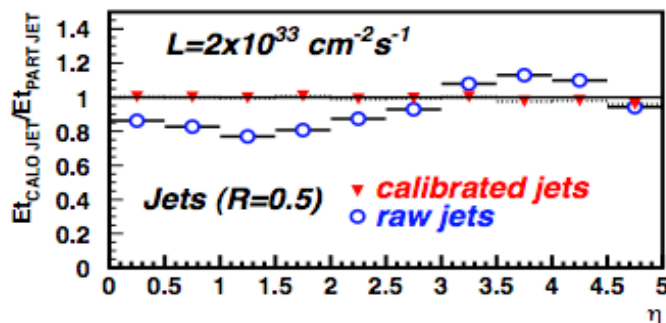
- Prime stime da Montecarlo all'inizio della presa dati
- dopo aver accumulato sufficiente statistica, la stima verra' effettuata a partire da eventi jet+ γ e jet+Z

10 bin in $\eta \Rightarrow$ costanti di calibrazione ($p_2 p_1 p_0$) in modo da riportare il valor medio dell'energia trasversa E_{Trec} all'energia delle particelle nel cono E_{Tgen} :

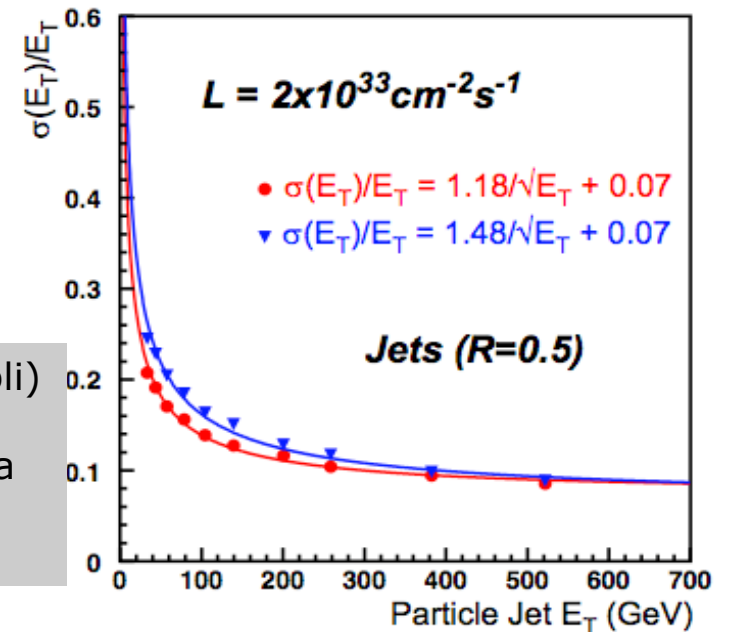
$$\langle E_{T}^{ric} \rangle = p_2 * (E_{T}^{gen})^2 + p_1 * E_{T}^{gen} + p_0$$



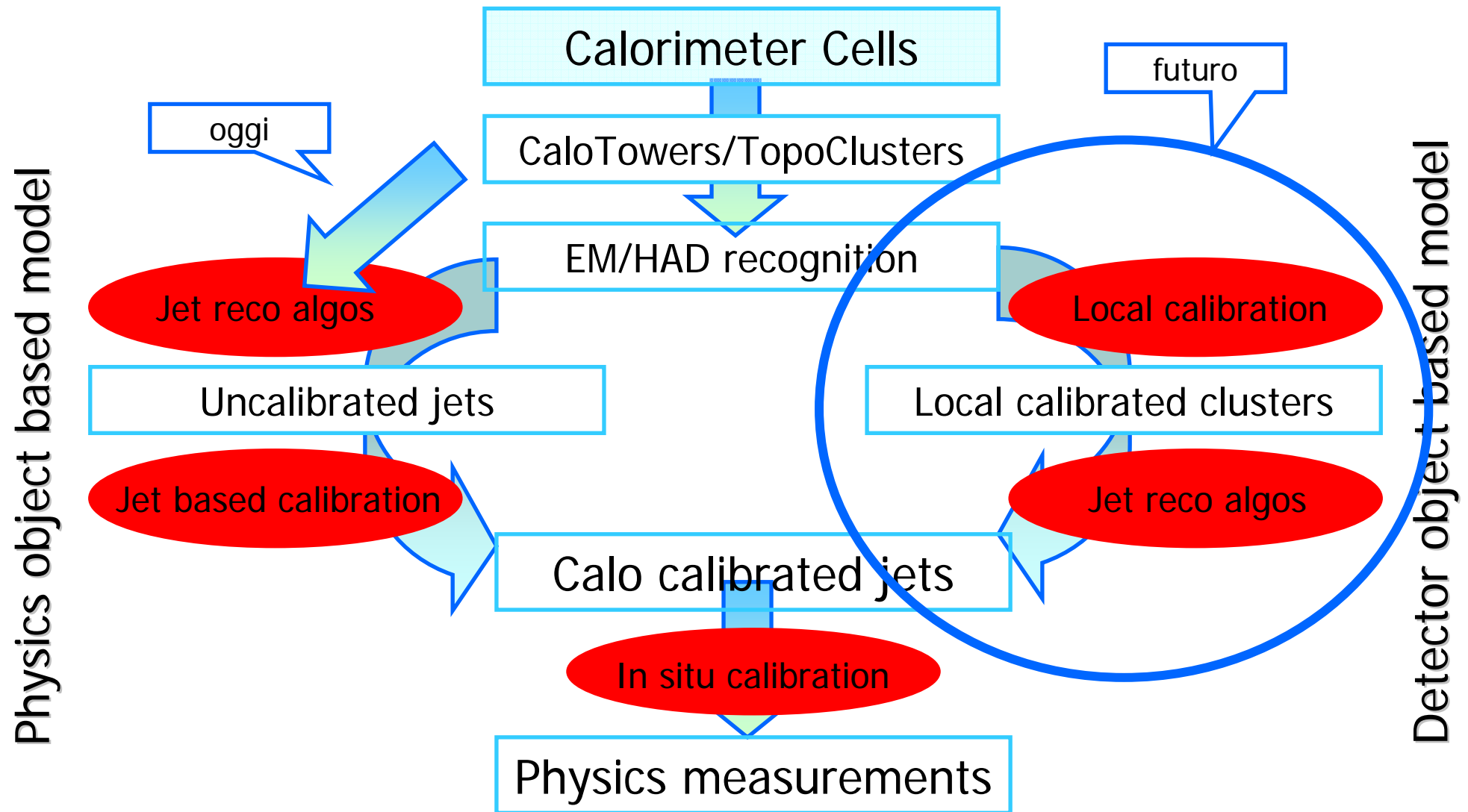
Energia ricostruita/generata prima e dopo la calibrazione per la scala energetica, bassa luminosita'

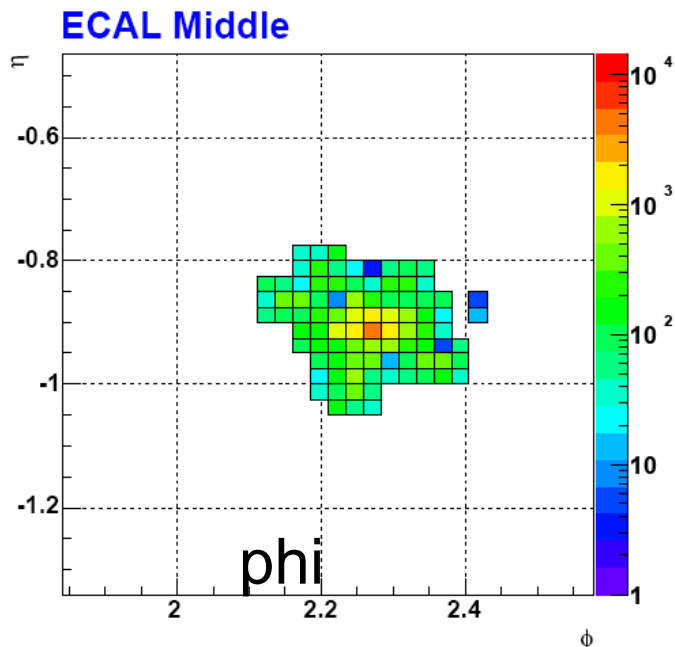


risultati prima (triangoli) e dopo (cerchi) la calibrazione per la scala energetica, a bassa luminosita'



Ricostruzione di adroni e jets alternativa in ATLAS



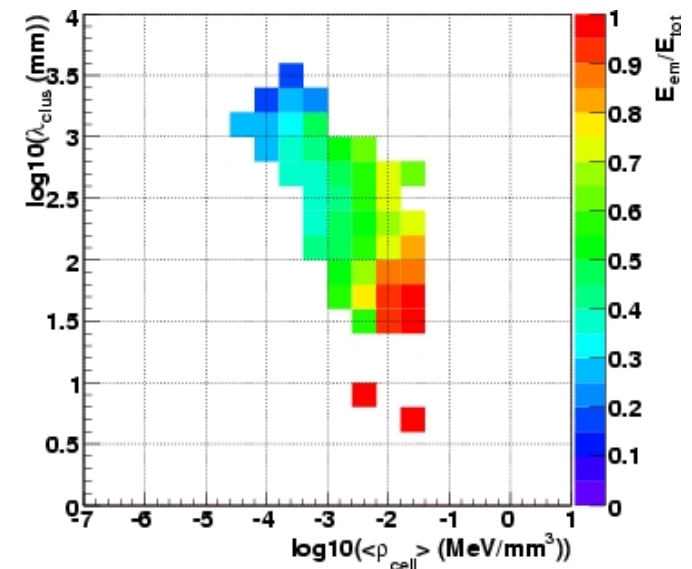


Topological clustering algorithm

- i cluster sono costruiti raggruppando celle che sono 'topologicamente' neighbours secondo certe regole:
 - solo celle $|E/\sigma_{\text{noise}}| > T_{\text{seed}}$ originano un cluster
 - solo celle con $|E/\sigma_{\text{noise}}| > T_{\text{cell}}$ vengono sommate
 - solo per le celle : $|E/\sigma_{\text{noise}}| > T_{\text{neighbor}}$ si interrogano le vicine
- Topological cluster splitter: separa cluster attorno ad eventuali massimi locali

Cluster classification utilizzando ad esempio due momenti:

- La shower depth (λ_{clus}) : sciame profondi tendono ad avere un maggior contenuto adronico
 - Densita' media delle celle (ρ_{cell}): densita' elevate indicano attivita' elettromagnetica
 - In fase di test su dati TB 2004



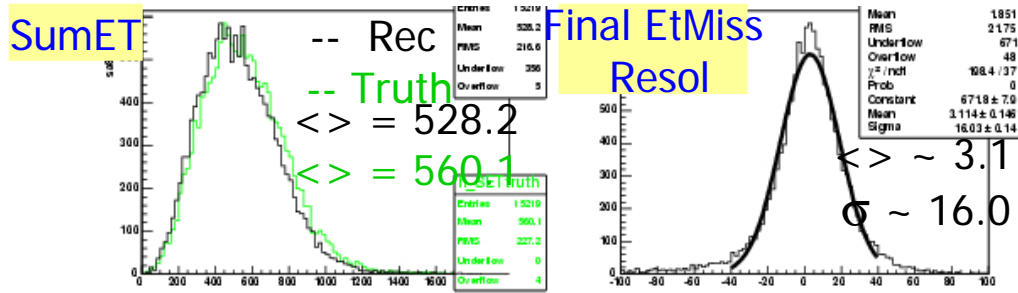
La missing E_T e' la quantita' piu' complessa perche' richiede la migliore calibrazione per ogni singolo oggetto fisico!

- **Due diversi approcci per calcolare la missing transverse energy nei calorimetri**
 - **MET_Calib** \Rightarrow da tutte le celle calorimetriche sopra la soglia 2σ (noise elettronico) per $|\eta_{\text{cell}}| < 5$
 - **MET_Topo** \Rightarrow dalle celle calorimetriche nei TopoClusters: noise suppression incorporata!
 - **Calibrazione** : per entrambi i metodi la calibrazione e' basata su pesi all H1 che dipendono dalla densita' di energia della cella e dalla regione di calorimetro
- **MET_Muon**:
 - Contributo dei muoni dal solo spettrometro (within $|\eta| < 2.5$) per evitare il double counting dell'energia rilasciata nei calorimetri
- **MET_Cryo**:
 - Stima dell'energia persa nel criostato tra LArg e Tiles calorimeters dall'energia depositata dai jets nell'ultimo comparto del calorimetro em e nel primo dell'adonico.

$$\mathbf{MET_Final = MET_Calib + MET_Muon + MET_Cryo}$$

Calibrazione della Missing E_T (ATLAS):

⇒ MET_Final from All Calo Cells with $|E_{cell}| > 2\sigma$ (noise)

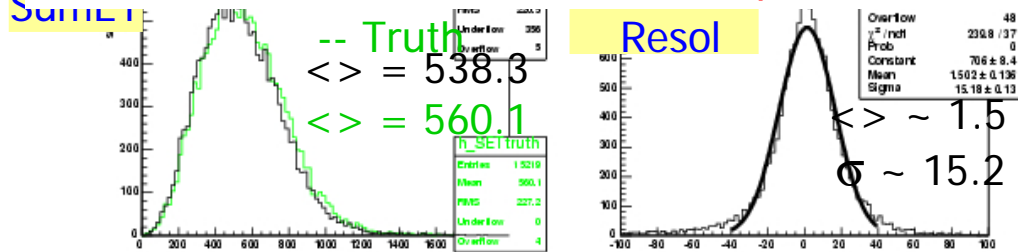


Esempio di $\text{Sum}E_t$ ed E_t miss resolution in eventi $A(800 \text{ GeV}) \rightarrow \tau\tau$

La calibrazione con topoclusters sembra promettente:

- migliora la risoluzione
- migliora l'offset

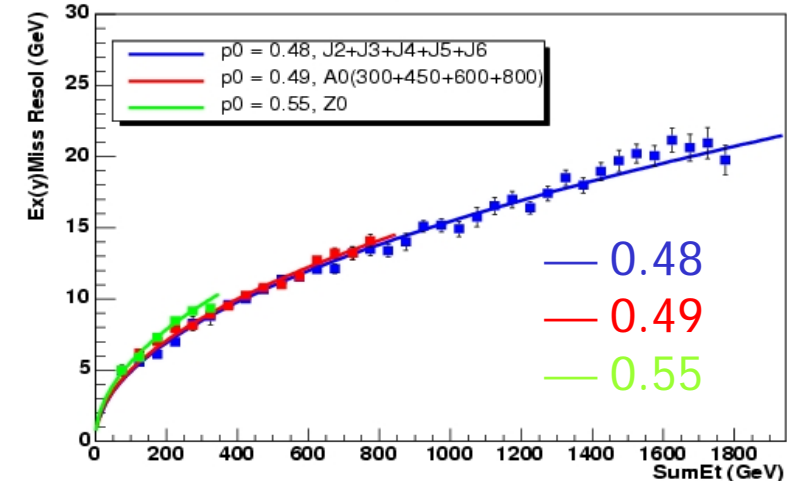
⇒ MET_Final from All Calo Cells in TopoClusters (4/2/0)



La risoluzione di E_t miss in funzione di $\text{Sum}E_t$ un po' peggiorata rispetto al benchmark TDR di 0.46 (non drammatico) soprattutto sul campione Z a basso $\text{Sum}E_t$

● work in progress su una calibrazione piu' raffinata basata sul detector object based model.

Ex(y)Miss Resol vs SumEt



I calorimetri al giorno 0

	EM		HAD	
	ATLAS	CMS	ATLAS	CMS
Uniformita'	1%	3%	3%	2%
Absolute scale	2%	1%	<10%	~10%

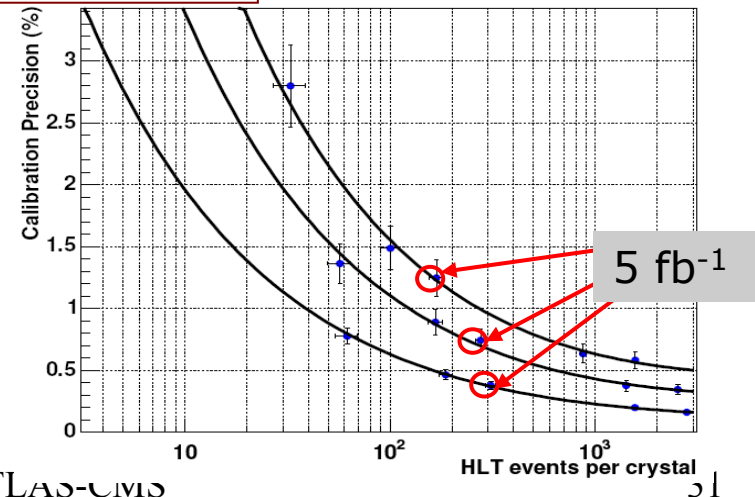
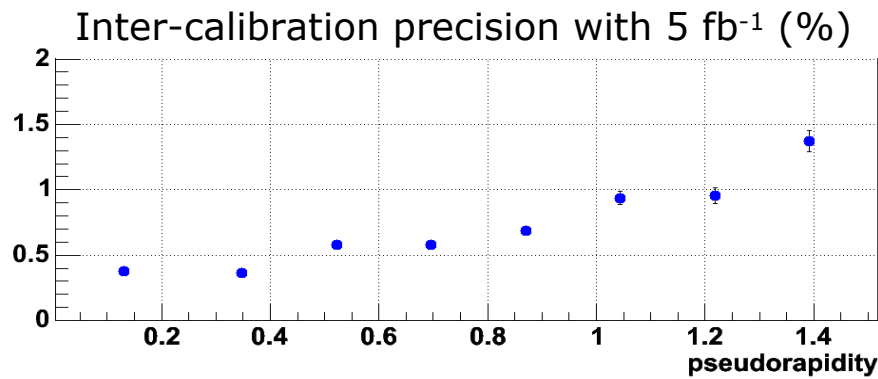
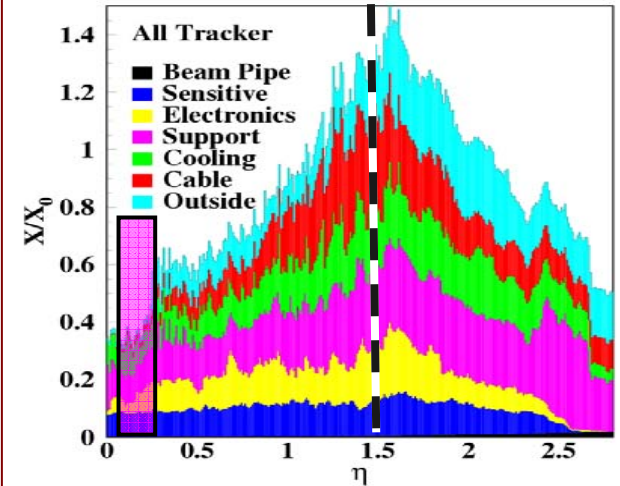
Parte III : I primi dati



BACKUP SLIDES

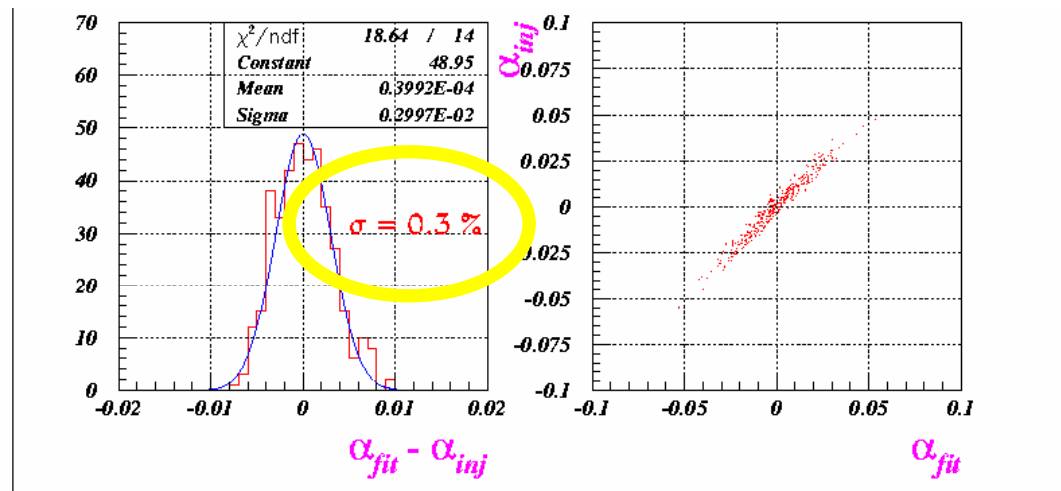
un esempio: CMS ECAL $W \rightarrow e\nu$

- e' il contributo dominante al termine costante della risoluzione energetica
- gli elettroni prodotti da $W \rightarrow e\nu$ vengono misurati dal tracker e da ECAL
- l'algoritmo di calibrazione minimizza la discrepanza fra le due misure
- metodo standard previsto per l'inter-calibrazione di ECAL
- i suoi risultati dipendono dalla presenza di un tracker spesso di fronte ad ECAL
- dopo 5fb^{-1} di presa dati si ottiene una risoluzione che varia da 0.4% a 1.3%



ATLAS: elettromagnetica in situ $Z \rightarrow e^+e^-$:

- Il termine costante locale (meccanica, elettronica..) $\approx 0.5\%$ in ciascuna regione $\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.2 \times 0.4$ (tot 440 regions) : verificato su TB
- La disuniformita' tra diverse regioni stimata $\leq 1.5\%$
- Correzione per disuniformita' di long range ottenuta intercalibrando le varie regioni usando il canale $Z \rightarrow e^+e^-$
- Full simulation: 150k events (qualche giorno di data taking a bassa luminosita')
- $|\eta| < 2.4$ e $P_t > 18$ GeV per entrambi gli elettroni
- L'accettazione del calorimetro em divisa in regioni e generata una 'decalibrazione' all' 1.5% rms.
- Dopo l'intercalibrazione si riesce a riportare il termine costante globale $0.5\% \oplus 0.3\% \approx 0.7\%$



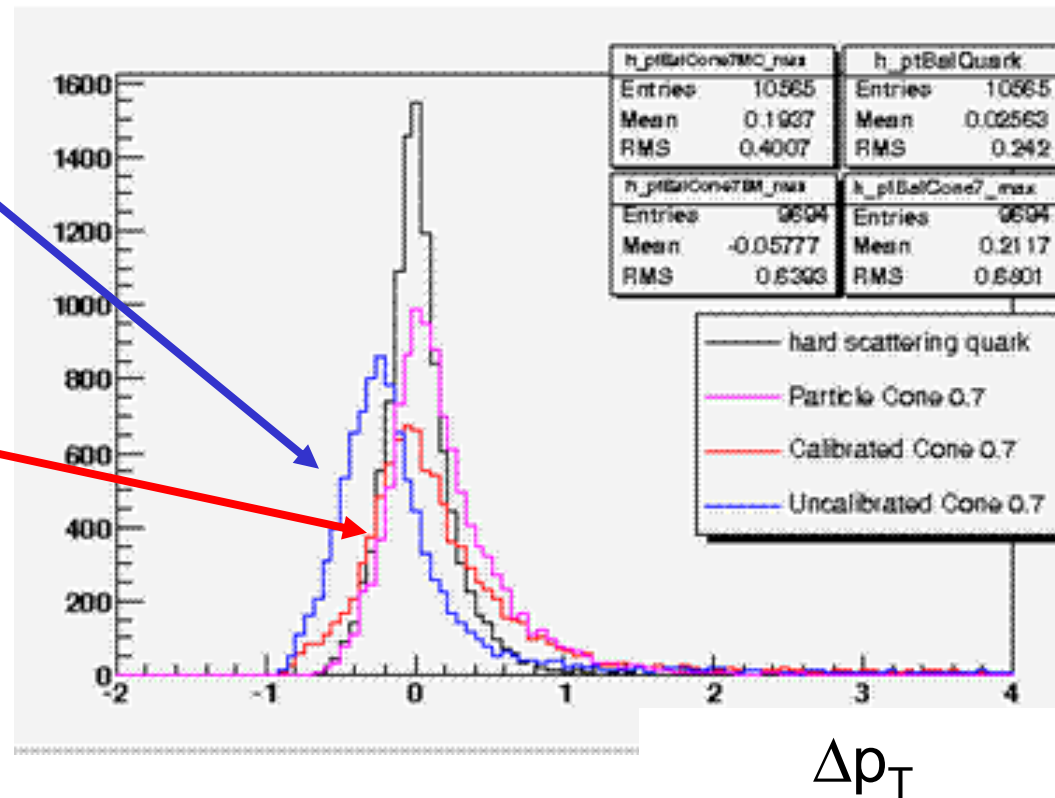
ATLAS: Calibrazione dei jets in situ γ +jet:

$$\Delta p_T = \frac{pT_{jet} - pT_{\gamma}}{pT_{\gamma}}$$

First step in using γ +jet events will be to check MC/data consistency at EM and HAD scale. Then we will go to pt balance requirements...

EM Scale
20 % off

HAD Scale
6 % off



C. De Luca – Rome Workshop

ATLAS: Calibrazione dei jets in situ Z+jet:

Studio con fast simulation

La calibrazione si ottiene imponendo:

$$Z + \text{jet} \rightarrow \mu\mu + \text{jet}$$

verificata solo approssimativamente per la presenza di ISR

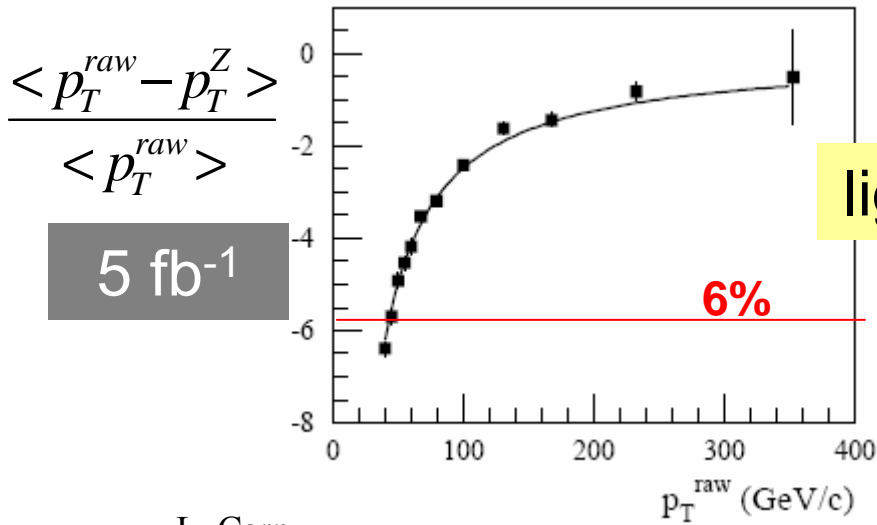
$$p_T^Z \cong p_T^{\text{jet}}$$

Efficienza per la selezione degli eventi 10%

30% running efficiency

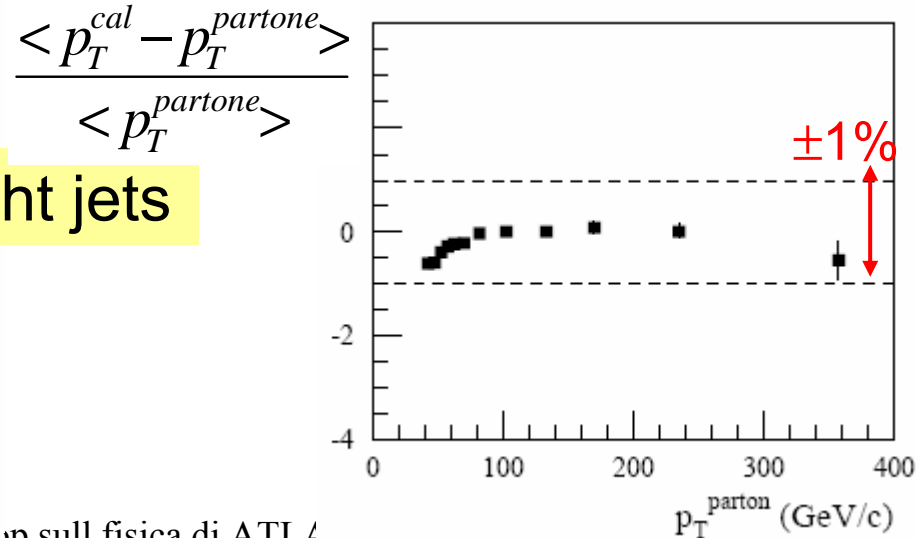
in 1 mese si hanno circa 30000 Z+jet nel barrel ($10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{sec}^{-1}$)

Prima della calibrazione



light jets

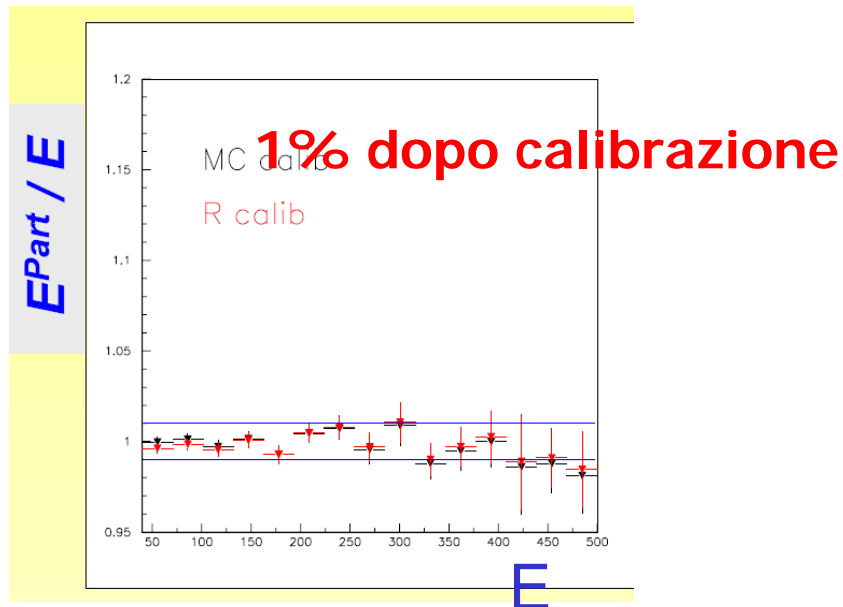
Dopo la calibrazione



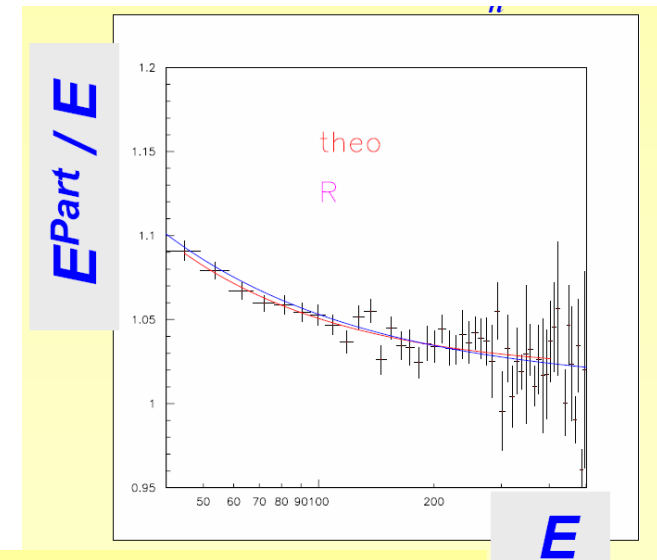
ATLAS: Calibrazione dei jets in situ $W \rightarrow JJ$:

Alla partenza di LHC la scala dei jet puo` essere studiata con eventi $W \rightarrow \text{jet jet}$:

- W prodotti nel decadimento di coppie $t\bar{t}$;
- 15000 $t\bar{t}$ con 4 Jets > 40 GeV / giorno a $L=10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$;
- in 1 settimana 10000 W raccolti con p_t 40-140 GeV



L. Carminati - P. Govoni



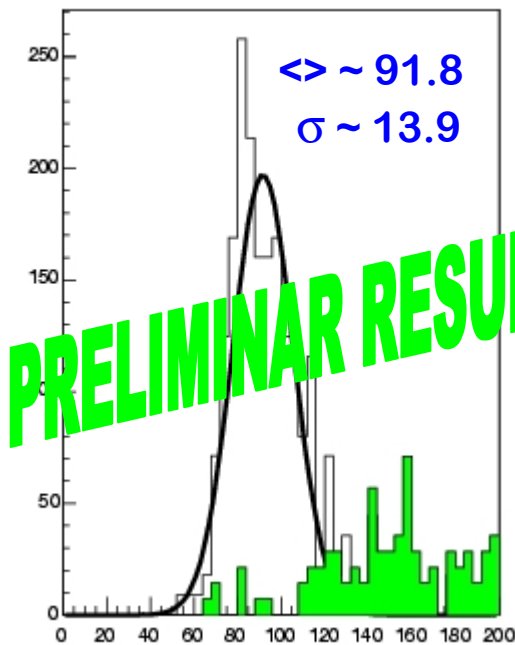
III Workshop sull fisica di ATLAS-CMS

35

ATLAS: Calibrazione dei jets in situ $Z \rightarrow \tau\tau$ (lepton-hadron channel)

⇒ Expected ~ 2000 evts for signal in mass bin (66-116 GeV) with ~ 5% (+/-5% !!) background (W+jets) for an integrated luminosity of 10 fb^{-1} applying TDR cuts

$\tau\tau$ invariant mass for Signal and Background

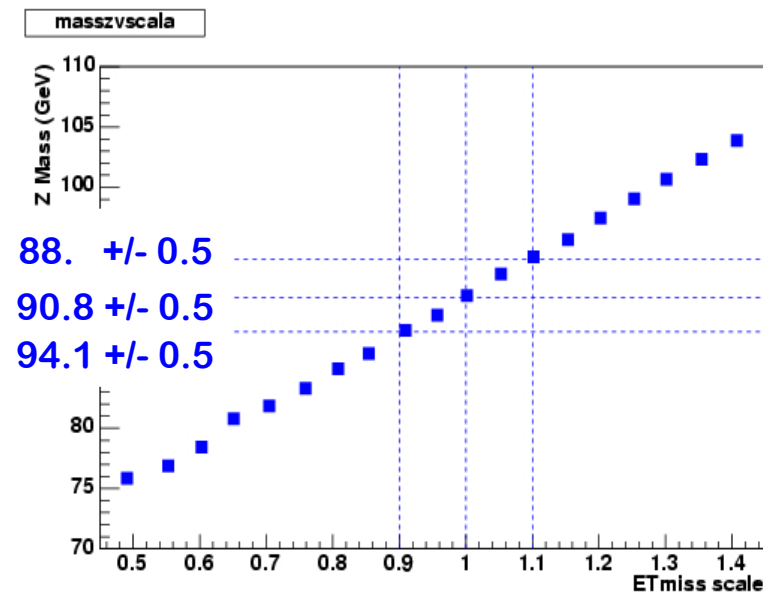


Applied TDR cuts :

$pt(\text{jet}) > 30 \text{ GeV}, |\eta| < 2.5$
 $pt(\text{lep}) > 16 \text{ GeV}, |\eta| < 2.5$
 $1.8 < \Delta\phi < 2.7$ or $3.6 < \Delta\phi < 4.5$
 $m_{\tau}(\text{lept-pTmiss}) < 25 \text{ GeV}$
 $pT_{\text{miss}} > 18 \text{ GeV}$

τ -likelihood > 8 (τ -eff ~ 30%)
 (TDR τ -eff ~ 20%)

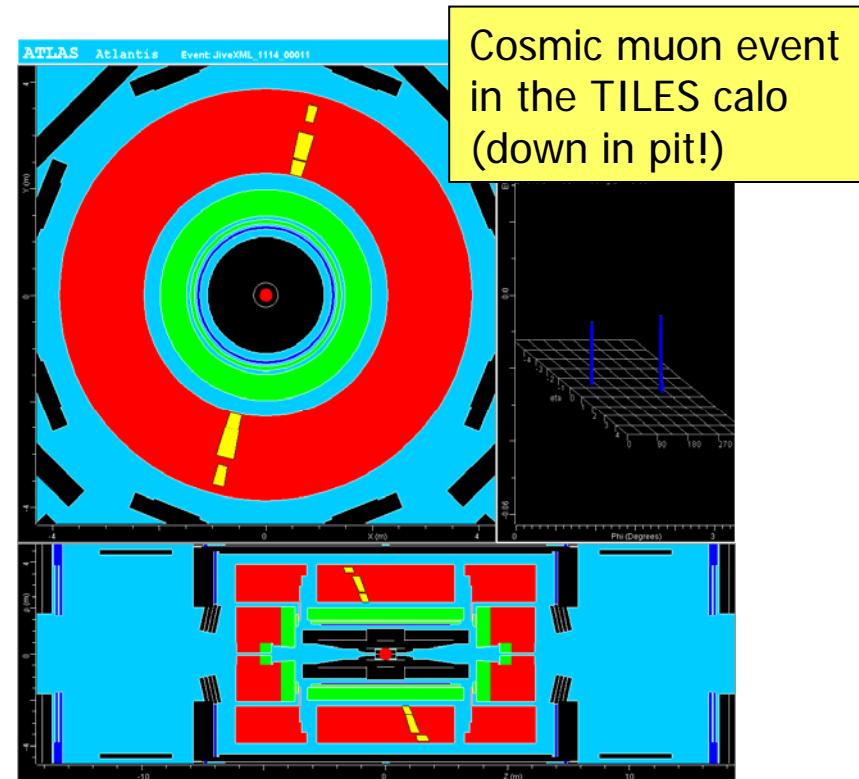
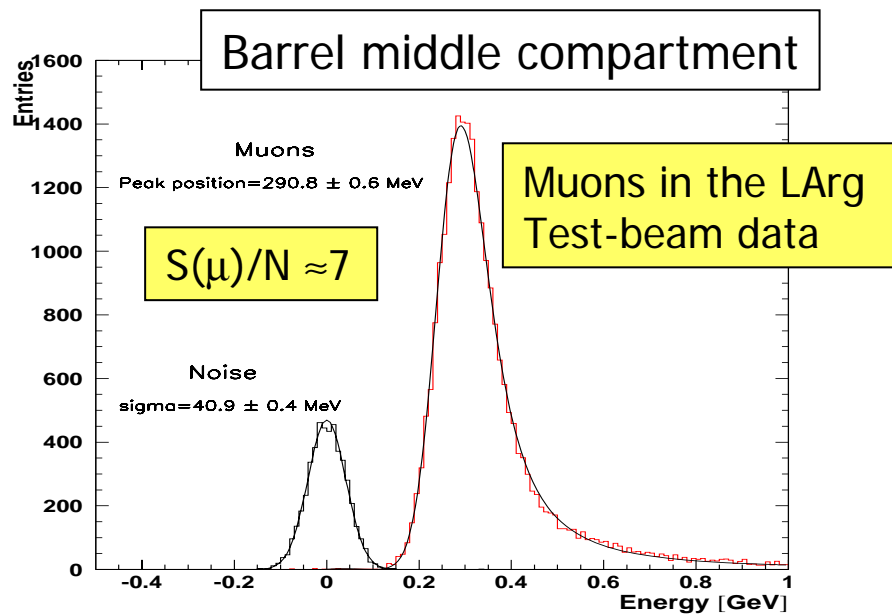
No lept isolation
 No b-tagging
 No retuning of TDR cuts



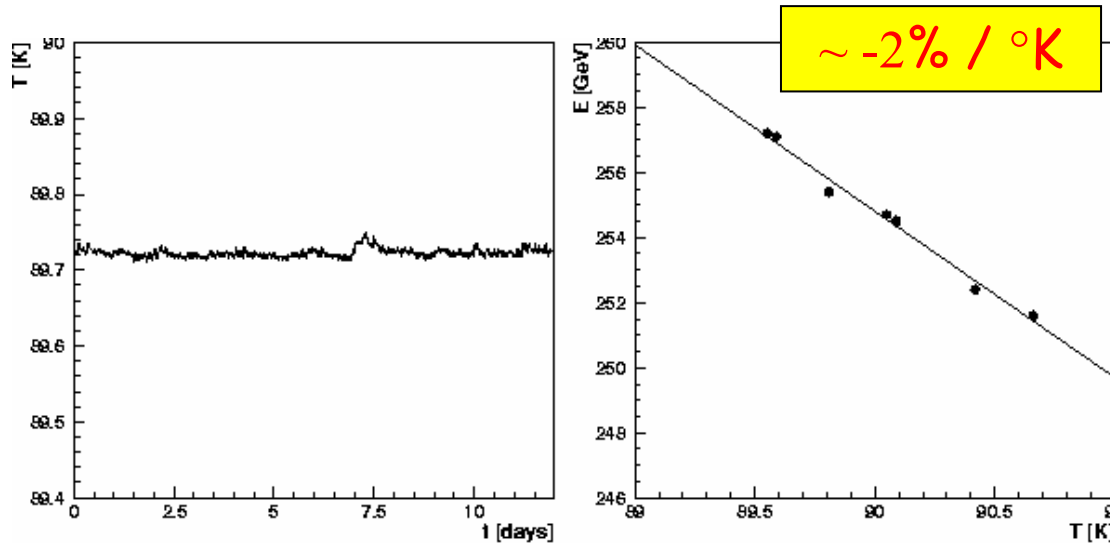
A variation of +/- 10 % of the EtMiss scale results in a shift of about 3% of the measured Z^0 mass

Commissioning with cosmics (barrel)

- Enough for initial detector shake-down (catalog problems, gain operation experience, some alignment/calibration, detector synchronization, ...)
- Over 3 months assuming 50% data taking efficiency $\sim 100 \mu/\text{cell}$ (with $|z| < 30 \text{ cm}$ and $E_{\text{cell}} > 100 \text{ MeV}$) can be collected over $|\eta| \leq 1$ and 70 % of ϕ coverage
- From studies with test-beam muons: can check (and correct) calorimeter response variation vs η to 0.5% ($\sim 0.25\%$ required): already a good starting point



Testbeam results: stability:

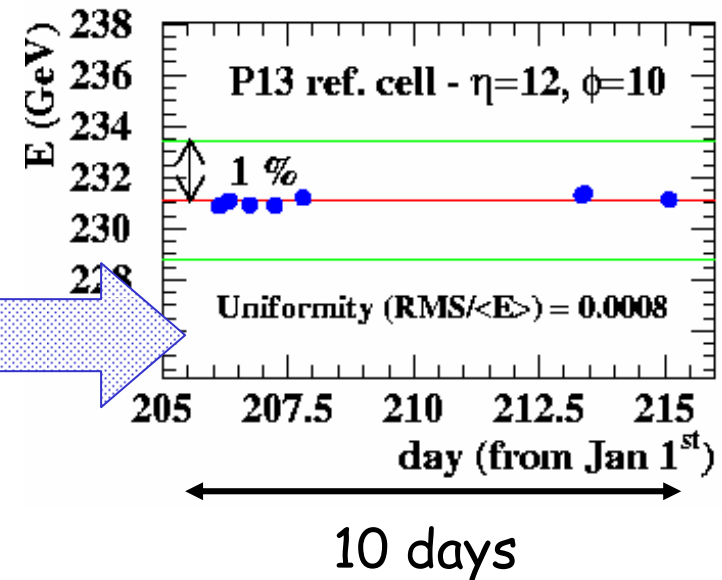


The temperature dependence of the physics signal is due to:

- Argon density vs T : $-0.45\% / ^\circ\text{K}$
- Drift velocity vs T : $-1.55\% / ^\circ\text{K}$

A reference cell has been shot during all testbeam period

Stability over 10 days $\sim 0.08\%$

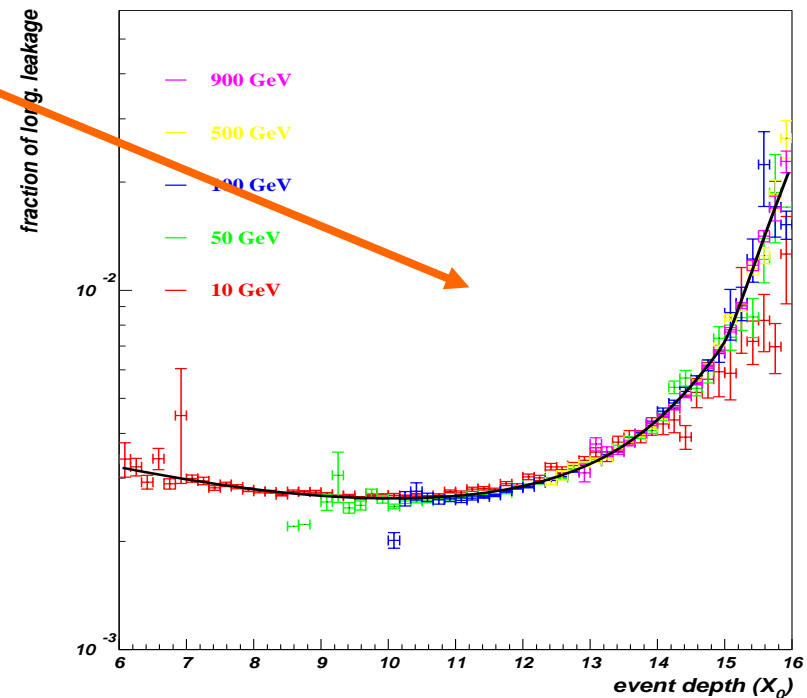
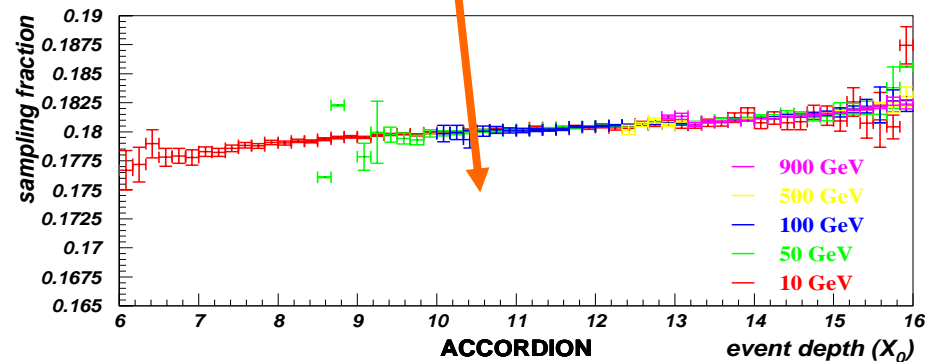


The ATLAS em calorimeter design : calibration

Calibration coefficients can be parametrized as a function of the shower depth so that they become energy independent!

□ Longitudinal leakage % as a function of the shower depth

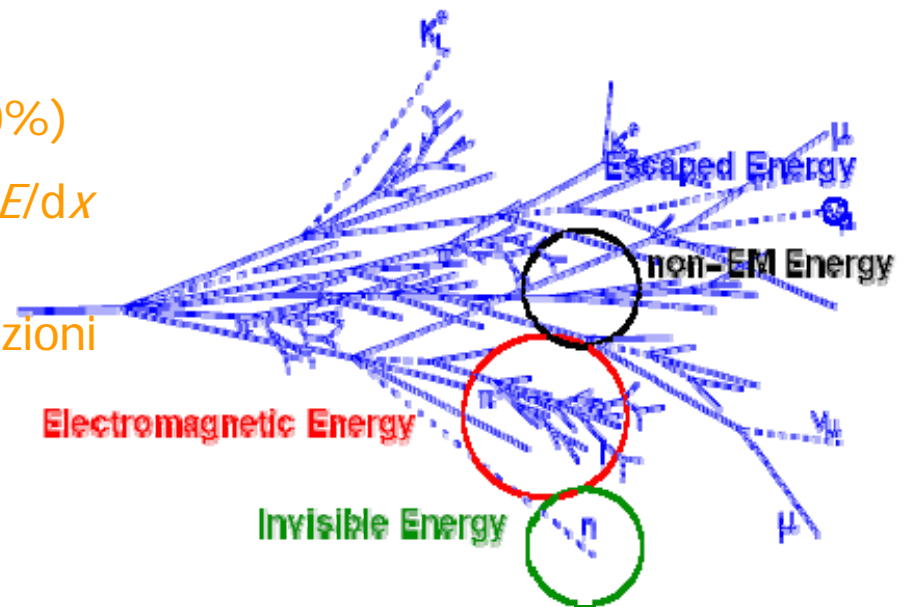
□ Intrinsic response of the calorimeter (*sampling fraction*) as a function of the shower depth



Ricostruzione di adroni e jets

Uno sciame adronico consiste di:

- Energia elettromagnetica: (es. $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$) O(50%)
- Energia visibile non elettromagnetica (es. dE/dx from μ^\pm , π^\pm etc.) O(25%)
- Energia invisibile: rottura dei nuclei e eccitazioni nucleari O(25%)
- Escaped energy: (neutrini) O(2%)



Piu' sorgenti di problemi (wrt em):

- le frazioni cambiano con l'energia: l'energia invisibile decresce con l'energia dell'adrone \rightarrow non linearita' e con grandi fluttuazioni \rightarrow risoluzione
- La calibrazione adronica deve tener conto dell'energia invisibile e dell'escaped energy

Ricostruzione dei Jets:

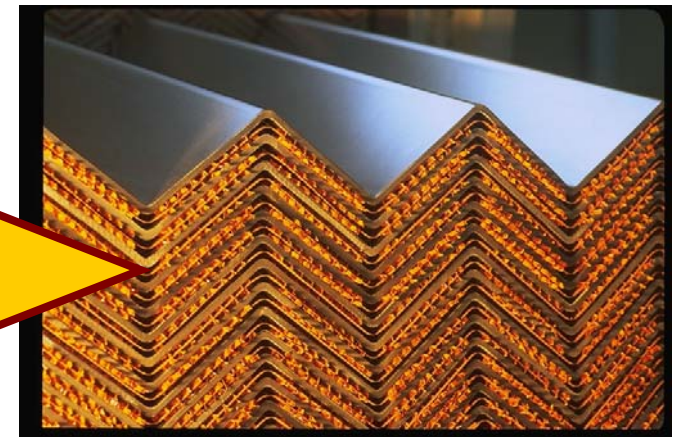
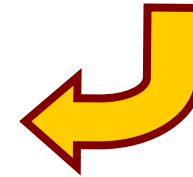
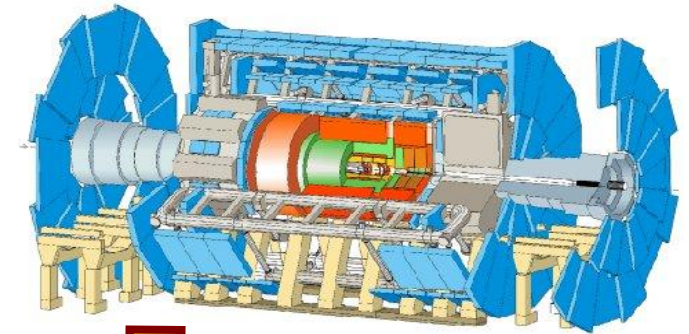
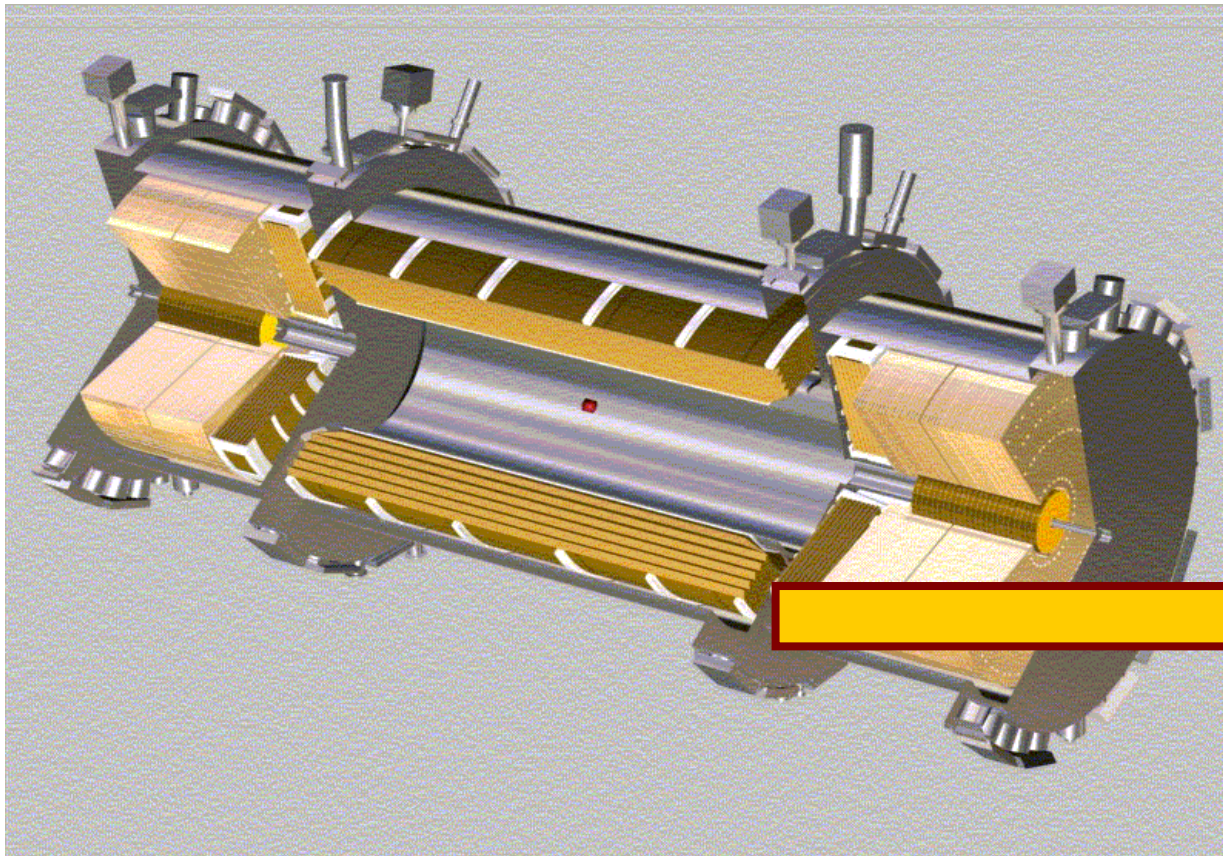
- Ulteriore grado di complicazione: risonoscimento, algoritmi di ricostruzione...

Intercalibration using $Z \rightarrow ee$ events:

- ❑ The local constant term should be of the order of $\approx 0.5\%$ (mechanics, electronics...) in each $\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.2 \times 0.4$ region (tot 440 regions)
- ❑ Expected rms miscalibration between different regions $\leq 1.5 \%$
- ❑ Long range non-uniformity correction: intercalibration of different calorimeter regions using $Z \rightarrow e^+e^-$
- ❑ Calibration using Z reduces the global constant term to $\approx 0.7 \%$ in a few days of nominal conditions data taking

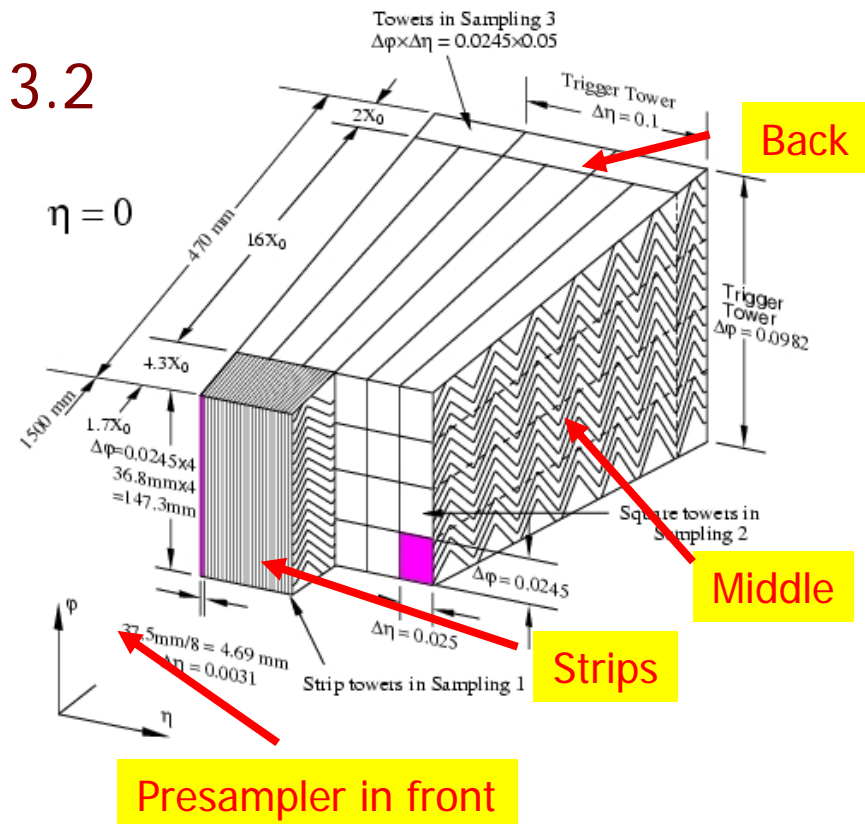
The ATLAS calorimeters design

The ATLAS electromagnetic calorimeter is a lead–liquid Argon sampling calorimeter with an accordion geometry



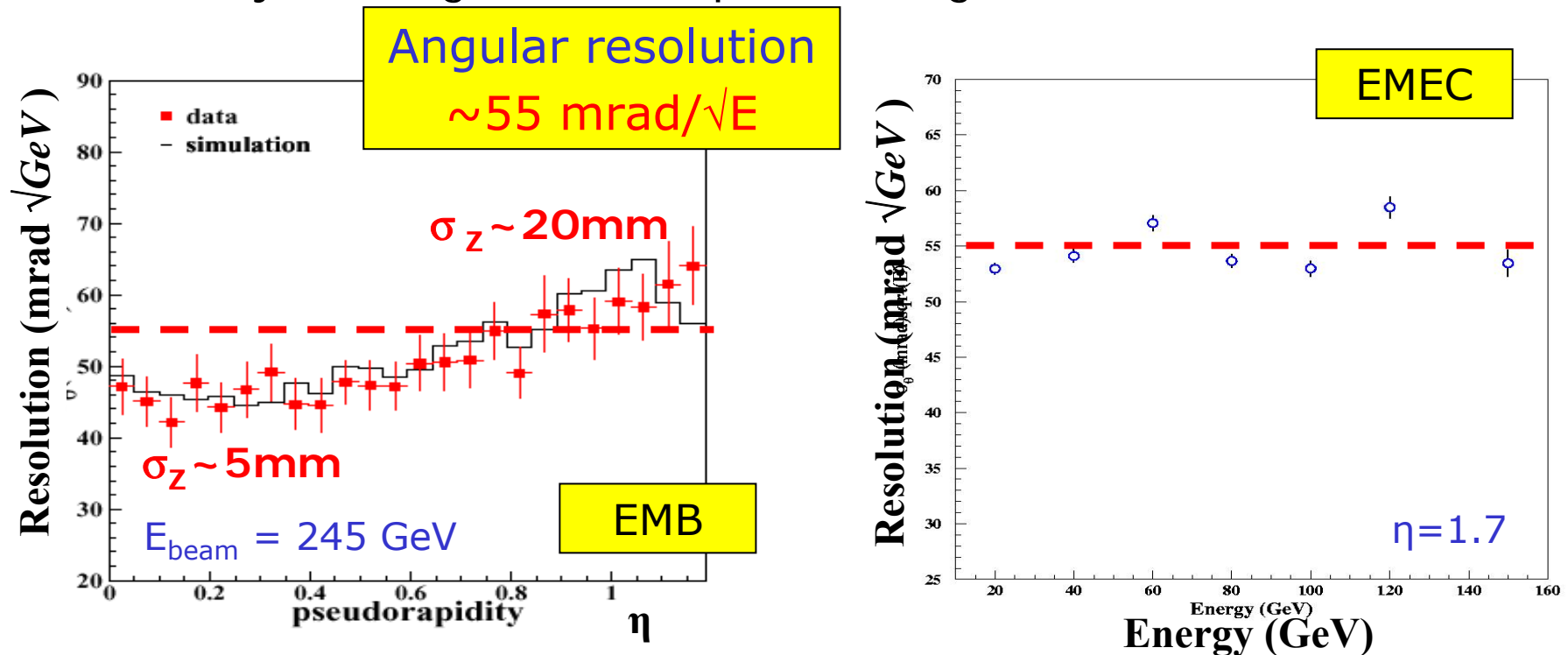
The ATLAS em calorimeter design

- ❑ Full azimuthal coverage
- ❑ Pseudorapidity coverage $0 < |\eta| < 3.2$
- ❑ Longitudinal segmentation
- ❑ Presampler to recover energy lost in the upstream material $\approx 2X_0$
- ❑ High granularity: 200000 read out channels
- ❑ Electronic calibration



Calorimeter performance: position resolution

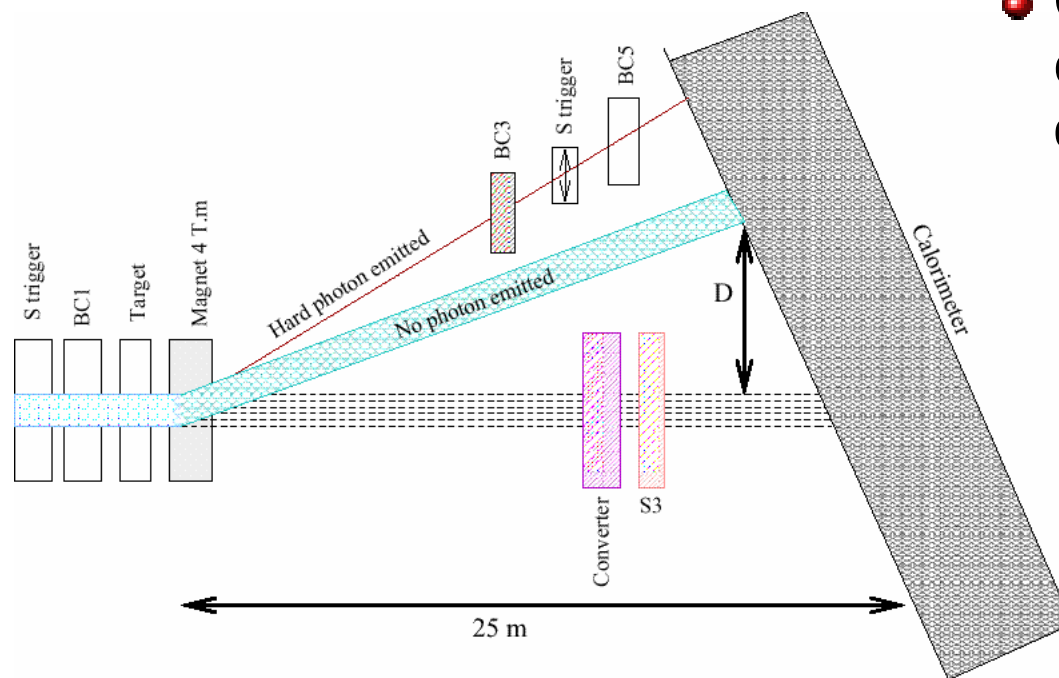
- The combination of S1 and S2 η position measurements with longitudinal shower barycentres gives an independent angular information...



- $H \rightarrow \gamma\gamma$ vertex reconstructed with $< 20 \text{ mm}$ accuracy
- LHC interaction point : $\sigma_z \sim 56 \text{ mm}$

Calorimeter performance: γ/π^0 separation

- ❑ Reducible background to $H \rightarrow \gamma\gamma$ is faked photon from **jet-jet** (γ -jet) events with a typical rate larger by 10^6 (10^3)
- ❑ S1 (strips) section depth has been designed to reject jets with leading π_0 (strips fine segmentation: $\Delta\eta = 0.025/8 \cong 5$ mm)
- ❑ A dedicated setup has been used to produce γ in H8 beam line



- Cover 5-70 GeV spectrum with different beam energy and magnet current

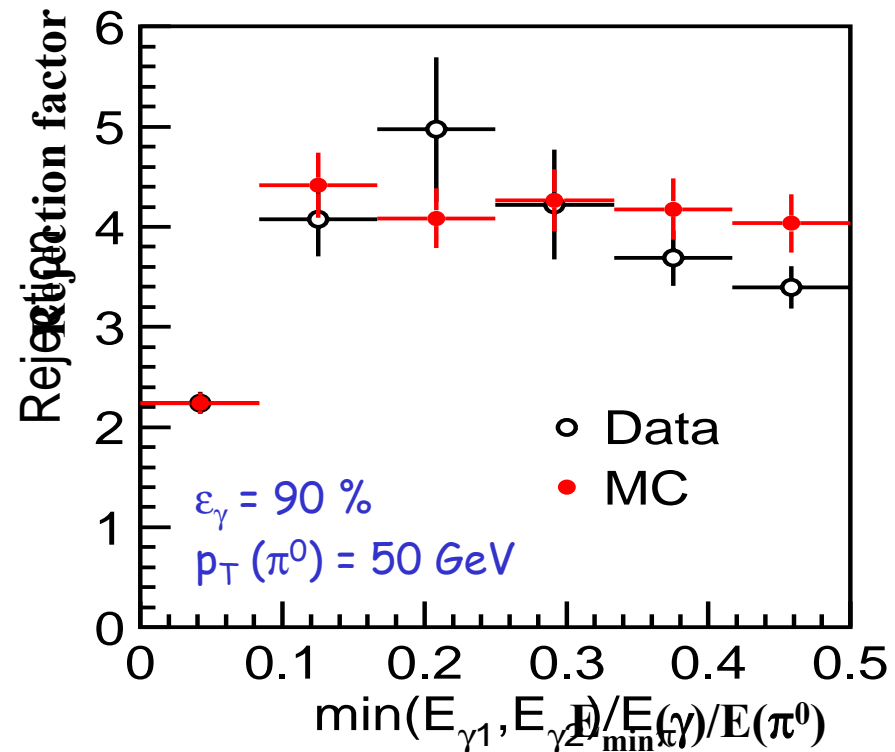
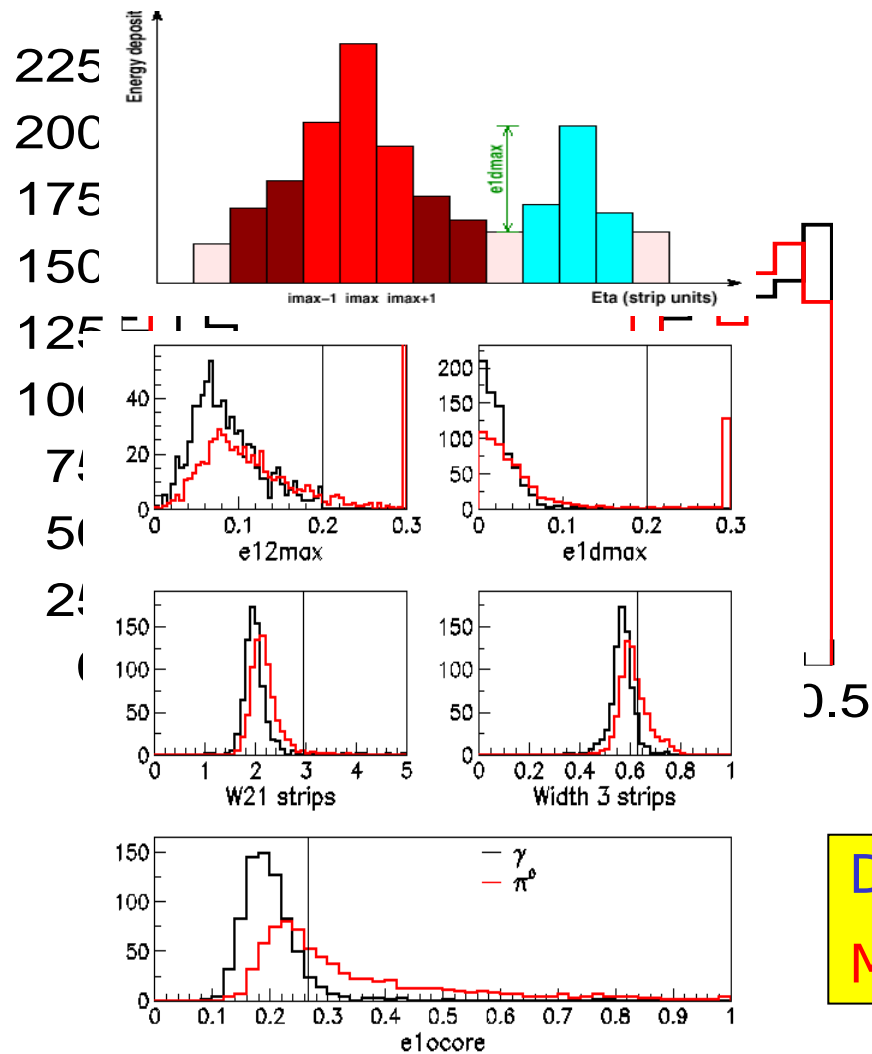
- Superimpose 2 γ events to simulate π_0 with 50 GeV P_T

Data: $\langle R \rangle = 3.54 \pm 0.12$

MC: $\langle R \rangle = 3.66 \pm 0.10$

$\sim 84\%$ single photon

Calorimeter performance: γ/π^0 separation

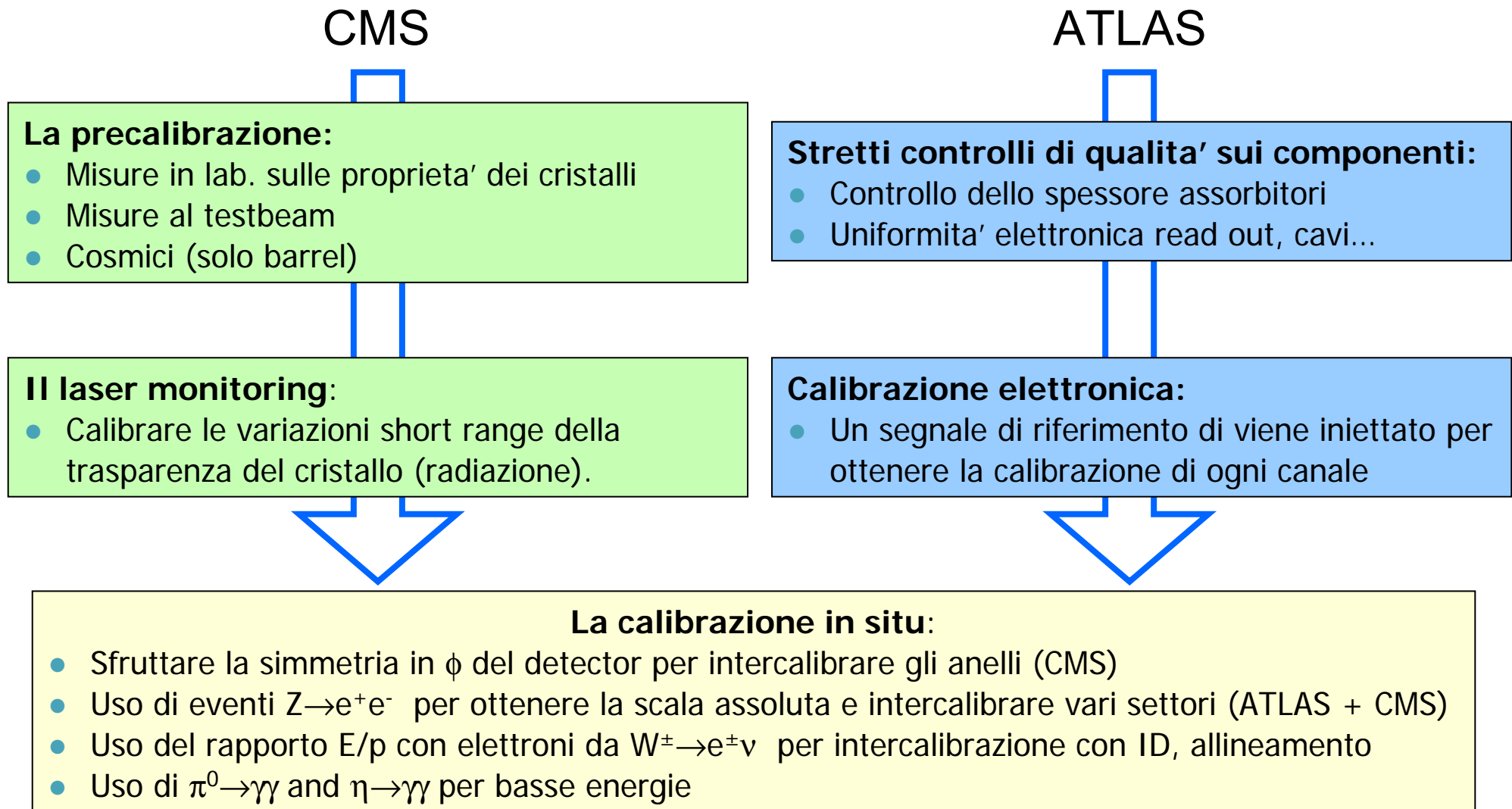


Data: $\langle R \rangle = 3.54 \pm 0.12$

MC: $\langle R \rangle = 3.66 \pm 0.10$

$\sim 84\%$ single photon

Strategie per la calibrazione elettromagnetica



Strategie per la calibrazione adronica:

Definizione scala elettromagnetica e equalizzazione

- misure con sorgenti radioattive
- misure con laser e LED
- misure su testbeam

monitoring in situ con laser e LED:

- segue il cambiamento in guadagno dei fotomoltiplicatori

monitoring con sorgenti radioattive:

- tutti i canali ricalibrati durante periodi di shut-down: per CMS alcuni layer ricalibrati anche durante la presa dati

Controllo della scala elettromagnetica in situ:

- Muoni singoli adroni jets

Controllo della scala adronica in eventi di singola traccia:

- eventi di minimum bias, singoli adroni da decadimenti di tau e jet

Calibrazione in situ con jet:

- ricostruzione della massa di W da eventi $t\bar{t}$ nel canale $W\rightarrow jj$
- studio di eventi γ +jet, Z+jet ed QCD dijets events (pt Balance)

Il calorimetro adronico di CMS (HCAL): la calibrazione

$$E_j^{calib} = E_j^{raw} c_j^k(E_j^{raw}, \eta)$$

- Per **equalizzare la risposta di tutte le mattonelle di scintillatore** rispetto ad una scala di energia assoluta,
- si calcolano i coefficienti di calibrazione c_j^k
- I **coefficienti di calibrazione dipendono da:**
 - energia misurata
 - la coordinata η
 - l'algoritmo di ricostruzione utilizzato
- **diversi canali di fisica** sono associati a coefficienti di calibrazione differenti
 - jet
 - E_T miss
 - particelle isolate
- I coefficienti di calibrazione devono garantire una **ricostruzione energetica indipendente dal tempo**
- I coefficienti di calibrazione devono determinare sia la **scala energetica** che l'**inter-calibrazione** del rivelatore

calorimetria elettromagnetica

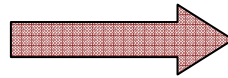
2-3% EB dopo
cosmics, TB e lab

1% dopo la
calibrazione
elettronica

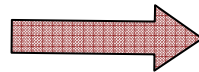
The starting point

The in situ calibration:

- Exploit the ϕ symmetry of the detector and intercalibrate rings
- Use the Z mass peak for electrons from the $Z \rightarrow e^+e^-$ channel for the absolute calibration
- Use the E/p ratio for electrons from the $W^\pm \rightarrow e^\pm \nu$ channel for the inter-calibration
- Use $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ and $\eta \rightarrow \gamma\gamma$ channels at low energy

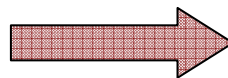


2% in pochi giorni



0.3% in pochi giorni

1% in pochi giorni



0.4% - 1.3%
in 5 fb⁻¹

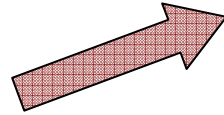
calorimetria adronica

Calibrazione del rivelatore muoni (cosmici, beam halo)

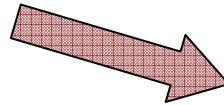
- eventi di minimum bias
- eventi di singoli adroni

Calibrazione dei jet

- ricostruzione della massa di W dal canale $W \rightarrow jj$
- studio del rinculo di jet su γ
- studio del rinculo di j su Z



- radiografia immediata dei calorimetri con beam halo
- 2% in poche ore con minimum bias
- 30% - 10% in poche settimane con pioni isolati



- l'effetto combinato dei vari canali permette di raggiungere un insieme di curve e coefficienti di calibrazione stabile in breve tempo
- dopo l'allineamento del sistema di tracking, la risoluzione migliora sensibilmente (di un fattore 1.7 a basse energie, del 15% a 100 GeV) e ci sono miglioramenti significativi sulla scala di masse, sostituendo le misure del tracker per le particelle cariche

studi preliminari

l'impegno italiano nella calibrazione

- lab pre-calibrazione ECAL: Milano-Bicocca, Roma, Torino
- TB pre-calibrazione ECAL: Milano-Bicocca, Roma, Torino
- comsics pre-calibrazione ECAL: Milano-Bicocca
- calibrazione in-situ ECAL: Milano-Bicocca, Roma

- FUTURO (2006): TB combinato ECAL + HCAL

- calibrazione elettronica EM: Milano
- calibrazione in-situ EM: Milano
- calibrazione in-situ HAD: Pisa

uno spunto: la calibrazione in situ dei rivelatori

- CALORIMETRI ELETROMAGNETICI: cruciale da subito ($H \rightarrow \gamma\gamma$)
- CALORIMETRI ADRONICO: energia dei jet e missing E_T per SUSY ed altro canali di ricerca